Münster i/W. 1934. No //

Phil. Dis

Botanik

Untersuchungen über die Wirkung des destillierten Wassers und verschiedener Salze auf das Wachstum von Lebermoosen.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
der Philosophischen und Naturwissenschaftlichen
Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität
zu Münster i. Westf.

vorgelegt von

Leo Ehring

aus Münster i. Westf.

Münster 1934

Gedruckt in der Dissertations-Druckerei Heinr. & J. Lechte / Emsdetten (Westf.)

Botanik

Untersuchungen über die Wirkung des destillierten Wassers und verschiedener Salze auf das Wachstum von Lebermoosen.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde
der Philosophischen und Naturwissenschaftlichen
Fakultät der Westfälischen Wilhelms-Universität
zu Münster i. Westf.

vorgelegt von

Leo Ehring

aus Münster i. Westf.

Münster 1934

Gedruckt in der Dissertations-Druckerei Heinr. & J. Lechte / Emsdetten (Westf.)

Dekan: Prof. Dr. R. Schmidt.
Referent: Prof. Dr. W. Benecke.

Tag der mündlichen Prüfung: 28. Juli 1931.

Inhaltsübersicht.

Seite:

A. Einleitung. 1
B. Eigene Untersuchungen. 3

Teil I.

Herstellung und Wirkung des destillierten Wassers und die Beeinflussung dieser Wirkung durch verschiedene Salze. 3

1. Geschichtlicher Ueberblick und Problemstellung. 3
2. Prüfung des Destillierapparates: 7
   a) Versuche mit Farbstofflösungen. 7
   b) Versuche mit Salzlösungen. 8
3 Prüfung des destillierten Wassers auf physiologischem Wege. 9
   a) Methodik. 9
   b) Wirkung des destillierten Wassers auf die Versuchspflanzen. 12
   c) Einfluß der Temperatur und der Dunkelheit auf die Wirkungsweise des destillierten Wassers. 17
   d) Zusammenfassung. 19
4. Untersuchungen über die Beeinflussung der Giftwirkung des destillierten Wassers durch einzelne Salze. 20
5. Die physiologische Wirkung homologer Ionenreihen auf die Entwicklung der Brutknospen von Marchantia polymorpha. 26
   a) Alkalien. 29
   b) Erdalkalien. 30
   c) Halogene. 30

Teil II.

Die Entwicklung einiger Lebermoose auf vollständigen und unvollständigen Nährlösungen. 34
1. Vollständige Nährlösungen. 36
2. Unvollständige Nährlösungen. 38
3. Zusammenfassung des II. Teils. 43

C. Literaturverzeichnis. 45

Tabellen. 49

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546002_0095

A. Einleitung.

1903 berichtete **Benecke** „Ueber die Keimung der Brutknospen von Lunularia cruciata"; der Autor befaßte sich mit der Wirkung des destillierten Wassers und verschiedenartiger — vollständiger und unvollständiger — Nährlösungen auf die Keimung und auf die Ausbildung der Rhizoiden der Brutknospen dieses Lebermooses und untersuchte weiterhin, welche Rolle chemischen Reizen hierbei zukommt. Gleichzeitig wurde auch der Einfluß anderer äußerer Bedingungen — Temperatur, Licht, chemische Zusammensetzung der Kulturgefäße — berücksichtigt. Die Resultate sind kurz folgende:

Auf möglichst reinem Wasser fand bei verschieden starker Belichtung und verschieden hoher Temperatur nur ein geringfügiges Wachstum der Thalli und der Rhizoiden statt. Eine chemische Reizung, z. B. durch Natriumsilikat, Alkalichloride usw., war unerläßlich; bei geeigneter chemischer Reizung erwies sich Belichtung als überflüssig.

Auf vollständigen Nährlösungen war die Entwicklung des Thallus und der Rhizoiden im Licht wie in der Dunkelheit gut. — Fehlten der Nährlösung Stickstoffverbindungen, so blieben die Brutknospen selbst bald im Wachstum zurück, während die Rhizoiden eine ungewöhnliche Länge erreichten. Auf phosphatfreien Lösungen konnte erst nach längerer Versuchsdauer eine auffallende Länge der Rhizoiden beobachtet werden. Auf eisenfreien Nährlösungen war die Entwicklung gehemmt, Kalkmangel löste bald schwere Schädigungen aus, die bei Kaliummangel weniger auffallend waren. Die Abwesenheit von Magnesiumsalzen und Sulfaten machte sich erst nach sehr langer Kulturdauer geltend.

Diesen Untersuchungen folgten Arbeiten verschiedener anderer Autoren, auf die z. T. später noch eingegangen werden soll. Da sich seit jenen Veröffentlichungen die Methoden vielfach verändert und verbessert haben — man denke z. B. an die erhöhte Reinheit der Salze oder an die Widerstandsfähigkeit der heute verwendeten Kulturgefäße gegen Wasser —, schien es zweckmäßig, einige Fragestellungen einer abermaligen Prüfung zu unterziehen.

Wesentliche Vorbedingung für derartige Versuche ist ein einwandfreies destilliertes Wasser; als erste Aufgabe ergab sich somit eine eingehende Untersuchung des Wassers, das für die späteren physiologischen Versuche benutzt werden sollte. Erst wenn wir über seine Wirkung im klaren sind, können wir daran gehen, die Bedeutung einzelner Salze oder den Einfluß verschiedenartiger Salzgemische auf Pflanzen zu prüfen.

Eine Veröffentlichung von **Pirschle**[1]) (1930), in welcher der Autor die Wirkung einzelner Elemente — Alkalien, Erdalkalien, Halogene — auf Pflanzen in Beziehung zu ihrer Stellung im periodischen System zu bringen sucht, war die Veranlassung, auch in dieser Richtung einige Untersuchungen anzustellen.

[1]) Die nach Abschluß meiner Versuche erschienene 2. Arbeit Pirschle's (1932) wurde anmerkungsweise noch berücksichtigt.

B. Eigene Untersuchungen.

Teil I.

Herstellung und Wirkung des destillierten Wassers und die Beeinflussung dieser Wirkung durch verschiedene Salze.

Im Laufe der Zeit sind zahlreiche Arbeiten erschienen, die sich mit der Wirkungsweise der Destillationsapparate und des auf verschiedene Art gewonnenen destillierten Wassers selbst befassen. Seit geraumer Zeit gewinnt die Herstellung eines sauberen destillierten Wassers immer größere Bedeutung in der Physiologie, weil Spuren verunreinigender Stoffe, die analytisch kaum zu fassen sind, dennoch physiologische Wirkungen entfalten können.

Destilliertes Wasser wurde hauptsächlich aus Apparaten, die Kühlschlangen aus Zinn oder verzinntem Kupfer besaßen, hergestellt; bei feineren Versuchen (**Stas** 1867) bestand die Kühlschlange auch wohl aus Platin. Häufig benutzte man Apparate aus Glas, die aber Stoffe an das Wasser abgaben. Wird nun heute das gegen Wasser sehr widerstandsfähige Jenaer Geräteglas 20 benutzt, so ist selbstverständlich auch hier die Möglichkeit einer Lösung von Wandsubstanz nicht ganz von der Hand zu weisen. Deshalb kommt man mehr und mehr dazu, Kochkolben und Kühler aus reinem Bergkristall herzustellen. Vielfach sucht man auch durch wiederholte Destillation zu einwandfreiem Wasser zu gelangen und benutzt nur zur letzten Destillation einen Quarzapparat.[1])

Betrachten wir nun die Wirkung des destillierten Wassers auf Pflanzen, so muß auf drei verschiedene Punkte geachtet werden: 1. Die Einwirkung der aus den Wandungen der Destillationsapparate stammenden Verunreinigungen. 2. Die spezifische Wirkung des reinen Wassers. 3. Der Einfluß der aus der Wand der Kulturgefäße gelösten Stoffe. Zu bedenken ist ferner, daß eventuell flüchtige organische Stoffe durch die Destillation nicht restlos entfernt werden.

1. Geschichtlicher Ueberblick und Problemstellung.

Es ist nicht meine Absicht, sämtliche Erfahrungen, die sich mit der Wirkung des destillierten Wassers befassen und in der Literatur niedergelegt sind, hier anzuführen; ich möchte mich darauf

[1]) S. auch Pirschle II. S. 4.

beschränken, nur die Ergebnisse einiger Autoren näher zu behandeln. Wegen anderer Arbeiten sei auf **Winkelmann** (1924) verwiesen.

Während ein Teil der Forscher zu der Ansicht kam, reines destilliertes Wasser sei keineswegs giftig für Pflanzen, schlossen die anderen und wohl die Mehrzahl der Autoren auf eine Giftwirkung. Ihre Erklärungsversuche für diese Erscheinung gehen allerdings auseinander. Wenn wir von den Forschern absehen, welche die Giftwirkung auf den schädlichen Einfluß gelöster Metallspuren aus den Destillationsapparaten zurückführen, bleiben doch noch recht verschiedenartige Deutungen übrig.

Bullot (1902) vertrat für zoologische Objekte die Ansicht, ein nicht mit Metallapparaten in Berührung gekommenes Destillat sei wirklich rein, und die Giftwirkung eines solchen Wassers könne daher nur auf Eigenschaften des Wassers selbst beruhen. (s. **Winkelmann).** Durch Zusatz von Natriumchlorid vermochte er das Wasser unschädlich zu machen.

True (1914) fand starke Schädigung bei Lupinenkeimlingen, wenn die relative Leitfähigkeit des Wassers besonders gering war. Nach ihm soll die auslaugende Wirkung Ursache der Schädigung sein.

Auch **Hibbard** (1915) und **Hansteen-Cranner** (1919) waren der Meinung, daß reines Wasser exosmotische Vorgänge bedinge, die dem Protoplasma Stoffe entzögen und auslaugend auf die Lipoide der Grenzschichten wirkten (Ausscheiden löslicher Phosphatide).

Sakamura (1922) fand — und ähnliche Beobachtungen machte später **Winkelmann** — bei Spirogyrafäden auffällige Unterschiede zwischen stärkereichen und stärkearmen Exemplaren: erstere starben im Dunkeln nach kurzer Zeit ab, letztere zeigten keine Schädigungen. Er macht die durch Ausscheidung von sauren Stoffen (CO_2) erhöhte H-Ionen-Konzentration verantwortlich.

Scarth (1924) konnte keine Schädigung feststellen, wenn die Atmungskohlensäure seiner Versuchspflanzen aus dem Wasser ausgetrieben wurde. Die meisten Alkalichloride sowie Ca-, Sr-, Zn- und Mn-Salze setzten die Giftwirkung des Wassers mehr oder weniger herab.

Seine Befunde bezügl. der Wirkung von Ca-Salzen wurden von **Cerighelli** (1926) und **Maquenne** (1922), wie auch von **Winkelmann** bestätigt. **Cerighelli** begründet diese Feststellungen mit der antitoxischen Eigenschaft des Kalziums gegen die spezifische Giftwirkung des destillierten Wassers.

Nach **Hoyt** (1913) war destilliertes Wasser dann für Spirogyra ungiftig, wenn es vor der Destillation mit Tierkohle behandelt war. Auch wenn er darin einige Algenfäden absterben ließ oder Kalziumsalze zusetzte, erreichte er das gleiche. Durch die abge-

storbenen Fäden sollen Stoffe in das Wasser abgeschieden worden sein, die seine ungünstigen Wirkungen teilweise aufheben.

Bode (1926) führt die Vergiftung von Spirogyra auf die Ausscheidung von CO_2 zurück. War aber diese Ausscheidung gering — wie z. B. bei den Hungerpflanzen **Sakamura's** —, so bemerkte er keine Schädigung.

Aehnliche Beobachtungen machte **Fitting** (1928), auch er sieht die Ansammlung der Atmungskohlensäure als Grund der Vergiftungserscheinungen an.

Yamaha (1927) fand bei Vicia Faba nach kurzer Zeit Schädigung der Wurzelspitzen, die er als „Plasmatische Strukturveränderung" bezeichnet. Er läßt es dahin gestellt, ob der Mangel an Salzen oder die saure Reaktion des Wassers diese Veränderungen hervorruft.

Mevius (1928) befaßte sich des weiteren mit der Wirkung des destillierten Wassers auf Pflanzen; er benutzte zu seinen Untersuchungen hauptsächlich 2 mal und 3 mal destilliertes Wasser. „Das erste Destillat stammte aus einem Metallapparat nach Prof. **Junkers**. Das zweite Destillat wurde mit Hilfe des von **Fitting** angegebenen Destillationsapparates aus Jenaer Glas 20 gewonnen." Zur Gewinnung des dritten Destillates benutzte **Mevius** einen gleichen Apparat aus Bergkristall. Seine Versuche ergaben eine vergiftende Wirkung des destillierten Wassers auf die Wurzeln der Versuchsobjekte. Von Wichtigkeit war der Befund, daß 3 mal destilliertes Wasser stärkere Schädigung zeigte als 2 mal destilliertes. Mit der Reinheit steigerte sich also die Giftwirkung; Temperaturerhöhung verstärkte ebenfalls den ungünstigen Einfluß des Wassers, der durch Kalzium- und Kalium-Salze gehemmt werden konnte, während Strontium- und Magnesium-Salze keine Schutzwirkung zeigten. **Mevius** verwirft auf Grund seiner Beobachtungen die Ansicht, daß von den Wurzeln giftige Substanzen abgegeben würden. Wechselte er nämlich das Wasser mehrmals, so trat die Vergiftung sogar frühzeitiger ein. Er ist wie **Bullot** der Ansicht, daß schädigende Bestandteile im Wasser selbst vorhanden sein müssen, denen jene Wirkung zuzuschreiben ist. Da die antagonistische Wirkung von Kalziumsalzen ($CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $CaSO_4$) sich gerade auf dissoziierte Substanzen erstreckt, sollen nach seiner Auffassung die schädigenden Bestandteile im dest. Wasser in dissoziiertem Zustand vorliegen. Es sind nun im dest. Wasser außer verschiedenen Gasen und H_2O-Molekülen die Ionen $H^{\cdot}$ und $OH^{\cdot}$(bzw. $H_3O^{\cdot}$) vorhanden; diese macht er für die Giftwirkung verantwortlich.

Roberg (1931) bestätigte die Befunde von **Mevius** bezüglich der gesteigerten giftigen Wirkung eines 3 mal destillierten Wassers. Die von ihm benutzten Keimlinge von Onobrychis sativa starben

in 3 mal destilliertem Wasser etwa 8 Tage früher als die in 2 mal destilliertem Wasser kultivierten. —

Mit der Frage der Herstellung möglichst reinen Wassers beschäftigt sich auch **Fitting** eingehend. Er hält es allerdings für ausgeschlossen, im Laboratorium mit den Mitteln, über die man dort gewöhnlich verfügt, ein wirklich reines Wasser herstellen zu können, und er sucht Wege, ein möglichst sauberes Destillat zu gewinnen. Ueber einen von ihm konstruierten Destillationsapparat aus Jenaer Glas 20 macht er genaue Angaben und erläutert sie durch Bilder. Für besonders empfehlenswert hält er eine gleiche Konstruktion aus durchsichtigem Bergkristall. Mit Recht wird von ihm betont, daß dem Ausgangswasser eine wichtige Rolle zukomme. Ging er von bereits 1 mal destilliertem Wasser aus, so erhielt er ein für seine Zwecke einwandfreies Destillat.

Im hiesigen Institut wird seit längerer Zeit jener Destillationsapparat von **Fitting** in den beiden empfohlenen Ausführungen aus Jenaer Glas und Quarz ständig benutzt. Ließ sich aber, wie **Mevius** und **Roberg** gezeigt hatten, das aus diesen Apparaten gewonnene Wasser durch erneute Destillation weiter reinigen, so mußte es noch irgendwelche Verunreinigungen enthalten. Eine Prüfung des Apparates und der aus ihm erhaltenen Destillate konnte vielleicht Aufschluß darüber geben. Jedenfalls war eine Untersuchung schon deshalb wünschenswert, weil nach den meisten Autoren die Art der Gewinnung, z. B. eine mehrmalige Destillation, wesentlichen Einfluß auf die Wirkungsweise ausüben soll.

Roberg hatte nun, gestützt auf die Arbeiten von **Hahn** (1922) und **Rupp** (1928), versucht, an dem Apparat eine derartige Verbesserung anzubringen, daß beim Ausgang von Wasser, das mit den gebräuchlichen Apparaten gewonnen war, „bei nur einmaliger Destillation ein Destillat erhalten wurde, das allen Anforderungen genügte und somit weitere Destillationen überflüssig machte." Diese Konstruktion, ein Destillationseinsatz mit **Raschig**-Ringen, war gleichfalls einer Prüfung zu unterziehen. Ein Vergleich der so erhaltenen Destillate mußte ergeben, ob ein Unterschied in ihrer Wirkungsweise zu erkennen war. Um ein einwandfreies Bild zu erhalten, mußte naturgemäß auch die Art der Wirkung von anderen destillierten Wässern in den Kreis der Untersuchungen einbezogen werden.

Gleichzeitig legte ich mir die Frage vor, die u. a. auch schon von **Benecke** und **Mevius** behandelt war, ob Temperatur und Dunkelheit oder der Zusatz einzelner Salze von Einfluß auf die Wirkung reinen Wassers waren.

Bevor ich nun die Einwirkung des destillierten Wassers, welches der Apparat von **Fitting** ohne und mit dem Einsatz nach **Roberg** liefert, auf Pflanzen prüfte, machte ich einige Destillationsversuche mit Farbstoff- und Salzlösungen. Falls nämlich beim Destillieren kleine Flüssigkeitsspritzer in das Destillat gelangten, so mußte ein Nachweis des benutzten Farbstoffes oder Salzes möglich sein.

2. Prüfung des Destillierapparates.

a) Versuche mit Farbstofflösungen.

1000 ccm einer 1%igen Fuchsinlösung (Diamant-Fuchsin **Merck**) wurden der Destillation unterworfen, und das Destillat wurde optisch auf Anwesenheit des Farbstoffes hin untersucht. Die Prüfung erfolgte an einer 10 cm hohen Schicht gegen weißes Papier. Das Fuchsin wurde wegen seiner bekannten, selbst in geringsten Konzentrationen wahrnehmbaren Farbkraft nach dem Beispiel von **Rupp** gewählt.

α) Apparat nach **Fitting**:

Destillationsgeschwindigkeit: 50 ccm in 2,5 — 3 Min.

Nach 5 Min. sind Tropfenfänger, Kragenrinne und Schwanenhalsansatz (diese Bezeichnungen siehe bei **Fitting**) gerötet. Das Destillat zeigt leichte Rotfärbung, die mit der Destillationsdauer an Intensität stark zunimmt.

Destillationsgeschwindigkeit: 50 ccm in 7,5 — 8 Min.

Bereits nach 3 Min. sind überraschenderweise Tropfenfänger usw. gerötet. Das Destillat weist kräftige Rotfärbung auf.

β) Derselbe Apparat mit Destillationseinsatz nach **Roberg**.

Bei schneller und langsamer Destillation bleibt das Destillat zuerst klar. Dann steigt langsam eine Rötung im Einsatz empor und nach etwa 20 Min. sind T-Stück und Raschig-Ringe (s. Abbildung bei **Roberg**) rot. Nach 30 Min. sind Tropfenfänger, Kragenrinne usw. ebenfalls gerötet und nunmehr, nachdem ca. 600 ccm farbloses Destillat erhalten waren und sich die Fuchsinlösung auf 3 % angereichert hatte, trat Rotfärbung des Destillats auf.

Ein weiterer Versuch mit einer 1%igen Kongorotlösung zeigte ein ähnliches Ergebnis. Auch bei Benutzung dieses Farbstoffes, der keine so intensive Färbung bewirkt als Fuchsin, war das aus dem Apparat ohne Einsatz gewonnene Destillat nach einiger Zeit rot gefärbt. Kam jedoch der Einsatz zur Anwendung, so blieb entsprechend dem ersten Versuch mit Fuchsin das Destillat lange Zeit farblos. Erst als sich die Farbstofflösung auf ca. 5 % angereichert hatte (und ca. 800 ccm klar abdestilliert waren), begann das Destillat sich langsam rot zu färben.

Wie aus diesen Versuchen hervorgeht, gelangen bei der Destillation von Fuchsin- und Kongorotlösungen aus einem Destillationsapparat nach **Fitting** die Farbstoffe nach kurzer Frist, ja

beim Fuchsin schon nach ca. 3 Min. in wahrnehmbarer Menge in das Destillat. Bei Benutzung des Einsatzes wurden relativ lange Zeit hindurch farblose Destillate erhalten; hier trat eine Färbung derselben erst nach Anreicherung auf 3 % beim Fuchsin, bzw. 5 % beim Kongorot auf .

Wenn aus diesen Ergebnissen schon der Schluß gezogen werden konnte, daß der Destillationsapparat ohne und mit Einsatz keine gleichwertigen Destillate liefert, erschien es doch zweckmäßig, zur weiteren Prüfung Salzlösungen zu verwenden. Falls nämlich hier — und nach unseren Erfahrungen mit Farbstoffen war es auch zu vermuten — bei der Destillation Spritzer übergerissen wurden, so mußten die Salze im Destillat nachweisbar sein.

b) Versuche mit Salzlösungen.

Der Destillation wurden Lösungen von Natriumnitrat, Kaliumnitrat, Ferrosulfat und Kuprosulfat unterworfen. Als Reagenz auf Nitrate wurde Diphenylamin und Schwefelsäure (nach **Hoffmann**), auf Ferrosalz Kaliumferrizyanid, auf Kuprosalz Kaliumferrozyanid (nach **Hattschett**) und Jodkalium (nach **Thoms**) verwendet.

Destillation von 1000 ccm einer 8%igen Natriumnitratlösung.

α) Destillationsapparat nach **Fitting.**

Destillationsgeschwindigkeit: 50 ccm in 6 Min.

Es wurden 50 ccm abdestilliert und hiervon 2—3 ccm auf Nitrat geprüft. Die Reaktion verlief negativ. Die restlichen 47 ccm gelangten in eine Abdampfschale. Auf diese Weise wurden nunmehr fortlaufend 10 mal 50 ccm der Natriumnitratlösung — die dabei langsam angereichert wurde — abdestilliert und auf Nitrat geprüft. Die Reaktion erwies sich stets als negativ. Als jedoch die Gesamtmenge der restlichen Destillate auf 2—3 ccm eingedampft und auf Nitrat geprüft wurde, fiel die Reaktion positiv aus.[1])

β) Gleicher Apparat mit Einsatz nach **Roberg.**

Destillationsgeschwindigkeit: 50 ccm in 6 Min.

Wie eben beschrieben, wurden auch hier die nacheinander erhalten Destillate auf Nitrat geprüft. Die Reaktion fiel jedesmal negativ aus. Die Prüfung der eingedampften Destillate auf Nitrat verlief gleichfalls negativ im Gegensatz zu dem Ausfall der Reaktion bei dem aus dem Apparat ohne Einsatz gewonnenen Gesamtdestillat.

Das gleiche Verfahren wurde mit einer 5%igen Kaliumnitrat-, einer 8%igen Ferrosulfat- und einer 8%igen Kuprosulfatlösung wiederholt. Die Destillation aller drei Lösungen hatte das gleiche

[2]) Verbrennungsgase des Gasbrenners können für die positive Reaktion nicht verantwortlich gemacht werden, da ja, wie weiter unten ausgeführt wird, auch bei den ebenso eingedampften Destillaten unter β negative Ergebnisse erzielt wurden.

Ergebnis wie mit Natriumnitrat: **Bei den eingedampften Destillaten aus dem Apparat ohne Einsatz ist die Reaktion stets positiv, bei den Destillaten aus dem Apparat mit Einsatz stets negativ.**

Es gehen demnach bei der Destillation von Salzlösungen aus unserem Destillier-Apparat geringe, aber nachweisbare Mengen von Salzen in das Destillat über, während nach Zwischenschaltung des Einsatzes ein Nachweis von übergegangenen Salzen im Destillat nicht mehr möglich ist.

Aus den Ergebnissen dieser beiden Destillationsversuche mit Farbstoff- und Salzlösungen ist zu schließen, daß der Destillationsapparat o h n e und m i t Einsatz keine gleichwertigen Destillate liefert und wahrscheinlich auch dann, wenn man von bereits 1 mal destilliertem Wasser ausgeht, — um welchen Fall es sich ja meistens handelt — Destillate von verschiedenem Reinheitsgrad liefern wird.

Für die meisten Untersuchungen wird sich dieser Unterschied kaum auswirken können; denn es bleibt zu berücksichtigen, daß der Salzgehalt der zu den oben erwähnten Destillationen benutzten Lösungen recht hoch ist, und daß daher bei sehr geringem Prozent-Gehalt an Stoffen, wie er bei der Destillation von Wasser vorliegt, ein entsprechend sauberes Destillat erhalten wird. Gleichzeitig zeigen die Versuche, daß der Apparat mit Einsatz auch jene Spuren Ausgangswasser, die sonst übergerissen werden, zurückhält und ein Wasser von größerer Reinheit liefert.

3. Prüfung des destillierten Wassers auf physiologischem Wege.

Es ergab sich nun als weitere Aufgabe, die verschiedenartige Beschaffenheit der beiden Destillate, aus dem Apparat ohne und mit Einsatz, auch physiologisch zu prüfen. Zeigten die Wässer in ihrer Wirkung auf Pflanzen Unterschiede, so war der Grund darin zu suchen, daß jenes mit dem Einsatz gewonnene Destillat einen höheren Reinheitsgrad besaß als das ohne den Einsatz hergestellte. Gleichzeitig wurde auch die physiologische Wirkung verschiedener anderer destillierter Wässer auf Pflanzen untersucht. Bevor die Ergebnisse besprochen werden, folgen einige methodische Angaben, die auch für den weiteren Teil der Arbeit Geltung haben.

a) M e t h o d i k.

Die zu den Versuchen benutzten Brutknospen von M a r c h a n t i a p o l y m o r p h a und L u n u l a r i a c r u c i a t a stammten aus Gewächshauskulturen. Sie wurden aus den Brutbechern mittels

Nadel sofort in die Kulturlösung überführt. Beim Aufbringen in die Flüssigkeit tauchen leicht einige Brutknospen unter, die zu Boden sinken und ein gesteigertes, meist einseitiges Wachstum zeigen. Ferner beobachtet man häufig, daß an Brutknospen, die fast abgestorben sind, einzelne grüne Zellen oder Zellkomplexe, unregelmäßig über den Thallus verstreut, sich vorfinden, die sich dann zu neuen Thalli entwickeln.[3]) An solchen Neubildungen entstehen normale, gesunde Rhizoiden. Auch wachsen des öfteren aus blasigen Anschwellungen geschädigter Rhizoiden von neuem solche, die ein besseres Aussehen haben, heraus. Alle derartigen Exemplare wurden für die Deutung der Versuche ausgeschaltet. Außerdem zeigten sich zwischen den Brutknospen desselben Kulturgefäßes häufig Unterschiede, die auf der verschiedenen Reife der Becher und Brutknospen beruhen müssen. Schon makroskopisch sieht man in den Brutbechern hellgrüne oder dunkelgrüne Knospen. Es war daher zweckmäßig, wie schon **Pfeffer** (1885) empfiehlt, die Brutknospen aus den gleichen Bechern möglichst gleichmäßig auf die einzelnen Kolben zu verteilen.

Um auch meinerseits das Verhalten stärkereicher und stärkearmer Exemplare, über welches **Sakamura** für Spirogyra berichtet hat, von Marchantia-Brutknospen untersuchen zu können, war ich bemüht, stärkearme Knospen durch längere Verdunkelung einer an Brutknospen reichen Kultur zu erhalten. Es gelang dies jedoch nicht, da die Kultur vor Erreichung des gewünschten Erfolges zu Grunde ging.

Riccia fluitans erhielt ich ebenfalls aus den Gewächshäusern des hiesigen Bot. Gartens. Hier wurden nach Ueberführung in 2 mal destilliertes Wasser grüne, sich gabelnde Thallusspitzen in einer Länge von ca. 4 mm abgeschnitten und 24 Stunden in 3 mal destilliertem Wasser gespült.[4]) Um mich nicht ganz auf Lebermoose zu beschränken, untersuchte ich sodann die Wirkung des destillierten Wassers auf **Wolffia arrhiza** und auf die Wurzeln von Onobrychis, sativa. Die Wolffia-Pflänzchen, an denen sich großenteils Tochtersprosse zeigten, wurden in 2 mal destilliertem Wasser gereinigt und 1 Tag lang in 3 mal destilliertem Wasser belassen, bevor sie auf die Versuchsflüssigkeit gebracht wurden. Die Samen von Onobrychis wurden in Leitungswasser zum Quellen und dann in Sägespänen zur Keimung gebracht. Die 3

[3]) Eine genaue Analyse dieser Vorkommnisse, zumal als Nachwirkung von Plasmolyse, gibt Förster (1927, S. 368), siehe ferner Vöchting (1885) und Schostakowitsch (1894).

[4]) Unter 3 mal destilliertem Wasser ist hier stets solches zu verstehen, welches aus einem Junkers'schen Apparat stammte und dann je 1 mal aus einem Jenaer Glas- bzw. Quarz-Apparat nach Fitting destilliert wurde.

bis 5 cm langen Wurzeln der Keimlinge wurden, wie oben für Wolffia beschrieben, gereinigt und ihrer ganzen Länge nach 24 Stunden in 3 mal destilliertem Wasser abgespült. Bei den Versuchen ließ ich sie mit $^2/_3$ ihrer Länge in die Flüssigkeit eintauchen.

Bei der mikroskopischen Untersuchung auf den Stärkegehalt wurde Chloral-Jod nach **A. Meyer** (1915) benutzt.

Als Kulturgefäße dienten meistens 100 ccm Erlenmeyerkolben aus Jenaer Glas 20, bei einem Teil der Versuche auch Kolben aus Thüringer Glas unbekannter Herkunft und solche aus durchsichtigem Bergkristall. Kolben aus den letzteren Stoffen kamen jedoch nur für Parallelkulturen in Betracht. Sämtliche Gefäße wurden vorher mit Wasser, Salzsäure und Bürste gereinigt, dann je 2 mal mit einfach, zweifach und dreifach destilliertem Wasser ausgespült. Größtenteils benutzte ich außerdem den Apparat nach **Abegg** (s. **Ostwald** 1893), auf dem die Kolben 2 mal je 5 bis 10 Min. dem Wasserdampf bzw. dem Kondenswasser ausgesetzt wurden, wodurch die innere Oberfläche des Kolbens kräftig ausgelaugt werden sollte.

Die Kulturen standen, soweit nichts anderes angegeben, in einem Versuchsgewächshaus im hellen Licht, vor direkter Sonnenstrahlung geschützt. Kulturgefäße, die nur von unten mittels Spiegel belichtet werden sollten, waren mit schwarzem Papier vor anderweitigem Lichtzutritt geschützt. Die Kolben wurden bis zu $^1/_3$ ihres Fassungsvermögens mit der Flüssigkeit gefüllt, mit Ausnahme der Esparsette-Kulturen, bei denen die Flüssigkeit bis auf ca. 3 cm an den Rand reichte.

Als Verschluß der Kolben dienten lockere Wattepfropfen.

Die bei einigen Versuchen benutzten Tageslicht- bzw. Dunkel-Thermostaten waren elektrisch geheizt und zeigten konstante Temperaturen.

Vor Wiedergabe der Protokolle dieser Versuchsreihen möchte ich einige Beobachtungen erwähnen, die das Verhalten der Brutknospen von Marchantia polymorpha auf dem Leitungswasser von Münster i. Westf. betreffen. Das Wasser befand sich in gewöhnlichen Gläsern, die mit einer Glasplatte bedeckt waren.

Bei den im Licht kultivierten Brutknospen setzte sofort Entwicklung ein, welche erst nach ca. 10—14 Tagen wohl infolge Nahrungsmangel stockte. Zahlreiche Adventivsprosse wurden ausgebildet, die eine gewisse Zeit ohne Störung weiter wuchsen. Erst nach mehreren Wochen starben in den Kulturen die Pflanzen langsam ab. Obwohl somit ein Stillstand im Wachstum und nach-

heriger Rückgang eintrat, war an den Thalli oder Rhizoiden —, die allerdings oft schraubige Windungen aufwiesen, in denen das Plasma jedoch nicht geschädigt war, — keinerlei Schäden zu bemerken, die auf irgendwelche Vergiftung hingewiesen hätten. Allein der Nahrungsmangel trat als begrenzender Faktor der Weiterentwicklung ein.

In den von unten belichteten Kulturen konnte man beobachten, daß die zahlreichen Rhizoiden hauptsächlich auf der dem Licht abgewandten Seite entstanden und diesem nach Möglichkeit auszuweichen suchten.

Im Dunkeln war die Entwicklung der Brutknospen und auch der Rhizoiden beschränkt.

Das Leitungswasser bietet also den Marchantia-Brutknospen die Möglichkeit einer gewissen normalen Entwicklung. Freilich genügt die quantitative Zusammensetzung der in dem Wasser enthaltenen Nährstoffe nicht für ausgedehnteres Wachstum, wie auch **Benecke** ähnliches für Lunularia-Brutknospen angibt.

Dies wäre somit das Bild, welches uns von Kulturen geboten wird, die auf einem Wasser wachsen, das keinerlei schädigende oder vergiftende Wirkungen zeigt.

b) Wirkung des destillierten Wassers auf die Versuchspflanzen.

Nunmehr will ich die Wirkung des destillierten Wassers auf die genannten Pflanzen behandeln und untersuchen, ob die Wirkung des Wassers durch Temperatur- und Beleuchtungsveränderung beeinflußt werden kann. Des weiteren soll versucht werden, den Einfluß einzelner Salze auf die Wirkungsweise unseres Wassers näher kennen zu lernen.

Zunächst setzte ich die Objekte (Marchantia polymorpha, Lunularia cruciata, Onobrychis sativa, sodann auch Wolffia arrhiza und Riccia fluitans) in drei Versuchsreihen der Wirkung dreier verschiedener dest. Wässer aus.

Reihe 1 erhielt ein Wasser, das aus einem Apparat nach **Junkers** stammte;

Reihe 2 erhielt ein Wasser, das entsprechend Reihe 1 aus einem Apparat nach **Junkers** stammte, dann aber zum zweiten Mal aus einem Apparat nach **Fitting** destilliert war;

Reihe 3 erhielt ein Wasser, das entsprechend Reihe 1 aus einem Apparat nach **Junkers** stammte, dann aber zum zweiten Mal aus einem Apparat nach **Fitting** unter Benutzung des Destillationseinsatzes nach **Roberg** destilliert war.

Die Versuchsgefäße bestanden bei diesen Reihen aus Jenaer Glas 20. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 verzeichnet (S. 49).

Im Anschluß daran wurde noch die Wirkung von destilliertem Wasser untersucht, das hergestellt war, wie in der obigen Reihe 2, dann aber noch mittels eines Apparates nach **Fitting** aus Quarz zum 3. Mal destilliert worden war. **(Reihe 4)** Dabei wurde außerdem noch der Einfluß der Qualität der Versuchskolben untersucht, welche zu den Kulturen verwendet wurden. Und endlich versuchte ich noch anhangsweise, ausgehend vom Münsterschen Leitungswasser, den Einfluß eines Wassers zu ermitteln, das nur aus Glas destilliert und im Gegensatz zu den bisherigen Wässern noch nicht in Berührung mit Metall gekommen war, natürlich abgesehen von dem Blei bzw. Eisen der Wasserleitungsrohre. **(Reihe 5)**

Besprechung.

Reihe 1—3. Betrachten wir nun die Ergebnisse der in der Tabelle 1 verzeichneten Versuche, also der obigen Reihen 1—3 näher, so sehen wir, daß ein aus dem **Junkers**schen Apparat stammendes Destillat (Reihe 1) die stärkste Giftwirkung zeigt. Es wird sich hierbei um die schädlichen Folgen von Kupferspuren handeln, die aus den Wandungen unseres Destillierapparates stammen und die ich, wie z. B. früher auch **Mevius**, mit Kaliumferrozyanid nachweisen konnte.[5]) Dieses Wasser kann daher von vornherein auf Reinheit keinen Anspruch machen und nimmt wegen seines Kupfergehaltes eine Sonderstellung zwischen den verschiedenen verwendeten Wässern ein.

Schwächer schädigte das 2 mal destillierte Wasser in der Reihe 2. Es stammte, wie gesagt, aus einem **Junkers**schen Apparat, war aber zum 2. Mal aus einem Apparat nach **Fitting** (ohne Einsatz) destilliert. Zweifellos sind so die geringen Kupfer-

[5]) Die Rhizoidkuppen färbten sich hier wie auch später in vielen anderen Versuchen häufig mit wässerigem Jodjodkalium blau, eine Farbreaktion, die wohl auf Amyloidbildung infolge Wachstumshemmung im Sinne Hopmanns (1930) zurückzuführen sein dürfte.

spuren entfernt oder wenigstens zum größten Teil eliminiert worden, sodaß sie nicht mehr schädigen konnten. Bei diesem Wasser tritt daher zum ersten Male die **„eigene Giftwirkung"** des Wassers in Erscheinung. Die Thalli und Rhizoiden der Lebermoose und die Wurzeln der Esparsette werden innerhalb 10—14 Tagen erheblich geschädigt. Nach dem Absterben einiger Exemplare bzw. eines Teiles ihrer Zellen gelangen Stoffe in das Wasser, die seine zerstörende Wirkung hemmen und den verschiedenen Versuchsobjekten nunmehr ein günstigeres Medium bereiten, — eine auch sonst nicht selten beobachtete Erscheinung.

Eine gesteigerte Giftwirkung zeigt nun das 2 mal destillierte Wasser der Reihe 3, welches aus dem Apparat nach **Fitting** mit **Roberg**-Einsatz gewonnen war. Die Thalli und Rhizoiden werden hier schon innerhalb 10 Tagen oder früher geschädigt und sterben unter Vergiftungserscheinungen ab. Auch bei den Keimlingen von Onobrychis macht sich die Schädigung, die den Tod der Pflanzen nach sich zieht, bereits nach etwa 10 Tagen geltend. — Wegen weiterer Einzelheiten sei auf die Tabelle verwiesen.

Reihe 4. Das in den nunmehr zu schildernden Versuchen benutzte Wasser wurde, wie schon oben gesagt, in einem Metallapparat, dann mittels eines **Fitting'schen** Glasapparates ohne Einsatz, endlich ein drittes Mal noch mittels eines Quarzapparates destilliert.

a) Brutknospen von Marchantia polymorpha.

α) Kolben aus Jenaer Glas.

Eine Entwicklung der Brutknospen findet nicht statt. Die Rhizoiden erreichen eine Länge von ca. 1—2 mm. Nach 12—14 Tagen sind Thalli und Rhizoiden stark geschädigt. Blasiges Auftreiben der Rhizoidspitzen und schraubige Windung der Rhizoiden ist häufig zu finden. Die geschädigten Pflänzchen sterben nach 15—17 Tagen ab, ohne daß die Stärke in ihnen aufgebraucht wäre.

β) Kolben aus Bergkristall.

Die Brutknospen verhalten sich gleich oder ganz ähnlich denen im Jenaer Glas.

γ) Kolben aus gewöhnlichem Glas.

Die Brutknospen zeigen eine kräftig grüne Farbe und eine allerdings schwache Entwicklung. Die Rhizoiden weisen an Zahl und Länge keinen deutlichen Unterschied gegenüber α) auf, erst nach 20 Tagen ist Schädigung zu sehen, aber ein Teil der Rhizoiden ist noch normal. Nach 30 Tagen jedoch ist die

Mehrzahl der Knospen abgestorben, und nur ein Teil zeigt noch grüne Vegetationspunkte. Häufig beginnt nun auch die Bildung von adventiven Thalluslappen, die aber nach ca. 8 Tagen wiederum Schädigung aufweisen.

b) Brutknospen von Lunularia cruciata.

Das Verhalten unterscheidet sich kaum von dem der Marchantia-Brutknospen.

Fassen wir zusammen, so ergibt sich: Das 3 mal destillierte Wasser wirkt stark schädigend auf die Versuchspflanzen, vorausgesetzt, daß Kulturkolben aus widerstandsfähigem Material verwendet werden. Dabei zeigt sich zwischen den Kulturen in Kolben aus Jenaer Glas und Bergkristall kein Unterschied während der Kulturdauer. Die aus durchsichtigem Bergkristall bestehenden Kolben sind bekanntlich äußerst widerstandsfähig gegen Wasser, desgleichen scheinen Gefäße aus Jenaer Glas 20 keine wirksamen Stoffe an das Wasser abzugeben.[6]) Letztere Gefahr war auch dadurch gemindert, daß immer wieder dieselben Gefäße benutzt und jedesmal kräftig ausgelaugt wurden.[7])

Ein anderes Bild zeigen die Versuche in gewöhnlichem, Thüringer Glas. Im Gegensatz zu den soeben besprochenen Kulturen kommt eine gewisse Entwicklung in ihnen zustande. Sie wird bedingt sein durch Stoffe, die aus der Glaswandung in die Flüssigkeit gelangt sind. Da das Wachstum erst nach mehreren Tagen einsetzt, liegt die Vermutung nahe, daß erst zu diesem Zeitpunkt genügend Substanz in Lösung gegangen ist, um einen Einfluß auf die Brutknospen geltend machen zu können. Die Giftwirkung des Wassers wird so etwas zurückgedrängt. Die gleiche Beobachtung, daß Kulturen in gewöhnlichem Glas ein günstigeres Verhalten zeigen, wurde auch später wiederholt gemacht.

---

[6]) Roberg (1928) beobachtete allerdings, daß Jenaer Glas 20 an Salzsäure Eisenspuren abgab, und daß weiterhin in Quarzkolben größere Ernten von Aspergillus niger erhalten wurden als in Kolben aus Jenaer Glas. Er läßt es dahin gestellt, „ob Quarz einen Reizstoff oder das Jenaer Glas einen Hemmungsfaktor mitteilte." Rippel und Stoess (1932) konnten den Nachweis führen, daß Aspergillus niger Ca und Ba aus den Wandungen der Gefäße aus Jenaer Glas 20 zu lösen vermag.

[7]) Früher hatte man nach dem Beispiel von Molisch (1895) eine Lösung der im Glas etwa vorhandenen Substanzen dadurch zu verhindern versucht, daß man die Kulturgefäße mit Paraffin auskleidete, wie es z. B. Wischmann (1910) angibt.

Für die meisten Versuche eignen sich jedenfalls, wie auch hinreichend bekannt ist, Kulturgefäße aus gewöhnlichem Glas nicht, da in die Versuchsflüssigkeit unbekannte Mengen gewisser Substanzen der Glaswandungen gelangen und ein falsches Ergebnis vortäuschen können.

Reihe 5. Wie wir in den bisherigen Versuchsreihen gesehen haben, wirkt unser 1 mal destilliertes Wasser infolge Metall-Cu-Spuren stärker giftig, als die aus diesem erhaltenen 2. und 3. Destillate. Es lag daher der Gedanke nahe, auch einmal ein Destillat zu untersuchen, welches nicht aus einem Metall-, sondern nur aus einem Glasapparat gewonnen war. Die schädigende Wirkung eines solchen Wassers mußte wegen Fehlens von Cu-Ionen schwächer sein. Gleichzeitig sollte dieses Wasser einer zweiten Destillation unterworfen und das Destillat in seiner Wirkung mit dem 1 mal destillierten Wasser verglichen werden.

Auf die Wiedergabe der Protokolle selbst möchte ich verzichten und mich auf die Besprechung der Ergebnisse beschränken. Aus dem Versuch geht hervor, daß auch dieses 1 mal aus Glas destillierte Wasser die Objekte vergiftet und in ihrer normalen Entwicklung hemmt. Doch ist der schädigende Einfluß, der Erwartung entsprechend, nicht so kräftig wie bei unserm gewöhnlichen, mit Cu-Spuren verunreinigten destillierten Wasser und tritt zudem später in Erscheinung. So beobachten wir z. B. eine gewisse Entwicklung der Brutknospen und Rhizoiden. Es ist das wahrscheinlich auf geringe Spuren von Stoffen zurückzuführen, die im Leitungswasser enthalten und trotz Destillation nicht restlos entfernt sind (**Fitting** empfiehlt daher auch, bei Benutzung seines Apparates von einem bereits 1 mal destillierten Wasser auszugehen), wobei an Kalziumsalze zu denken ist; denn diese scheinen der Erfahrung nach geeignet zu sein, den schädigenden Einfluß „reinen" Wassers zu hemmen.[8]) Eine Steigerung der Giftwirkung zeigt diesem bisher besprochenen gegenüber das 2 mal destillierte Wasser, dem ein ähnlicher Einfluß zuzusprechen ist wie dem 2 mal destillierten Wasser der 1. Versuchsreihe (Ausgangswasser: Wasser aus einem Apparat nach **Junkers** gewonnen.) Verschiedentlich erreichen die Rhizoiden eine Länge von 2 — 3 mm, ebenso wachsen Wurzeln und Seitenwurzeln eine Zeitlang weiter. — Jedenfalls sind dem Wasser durch die zweite Destillation die Spuren der Stoffe, welche die Gift-

[8]) Siehe „Geschichtlicher Ueberblick". Wir kommen später ebenfalls noch auf diese Frage zu sprechen.

wirkung herabsetzen, entzogen, sodaß es sauberer ist und infolgedessen bei erhöhter Reinheit eine gesteigerte Giftwirkung bedingt. —

Alle Versuche ergeben also eine Steigerung der schädlichen Wirkung mit dem Reinheitsgrade des destillierten Wassers. Ueber anomales Wachstum und Schädigung der Lunularia rhizoiden auf reinem Wasser hat schon **Benecke** (1903, p. 22 f) berichtet. Angaben über Vergiftungserscheinungen des Brutknospenthallus durch reines Wasser finden sich in seiner Arbeit nicht. Vielleicht ist aber die von ihm an Brutknospen, die in bestimmten Kulturkolben auf reinem Wasser gezogen waren, beobachtete Bräunung und Abtötung, die er geneigt war auf den schädlichen Einfluß von giftigen, aus der Glaswandung stammenden Substanzen zurückzuführen, im Lichte der neueren Erfahrungen so zu deuten, daß es sich in Wirklichkeit um eine Vergiftung der Knospen durch ganz reines Wasser gehandelt hat.

c) Einfluß der Temperatur und der Dunkelheit auf die Wirkungsweise des destillierten Wassers.

Hansteen — Cranner, sowie **Yamaha** und später **Mevius** hatten bei ihren Versuchen mit reinem Wasser auch den Einfluß der Temperatur geprüft und gefunden, daß sie eine nicht unwesentliche Rolle bei der Wirkung des destillierten Wassers spielt. Nach ihnen sollen höher liegende Temperaturen die Giftwirkung beschleunigen. Ich erwähne einige Versuche, die ich in dieser Richtung angestellt habe. Als Versuchsobjekte dienten Brutknospen von Marchantia und Lunularia auf 2 mal und 3 mal destilliertem Wasser in Jenaer Glas-Kolben. Außer in Thermostaten waren die Kulturen in verschiedenen Räumen untergebracht, deren Temperatur innerhalb einiger Grade schwankte. Infolgedessen lassen sich aus den Versuchen keine **strengen** Gesetzmäßigkeiten herleiten, doch kann man aus ihnen wohl ein orientierendes Bild über den Einfluß der Temperatur erhalten. Ich schildere zuerst die Ergebnisse an Kulturen, die bei günstiger Belichtung und verschiedenen Temperaturen gehalten waren.

Es zeigte sich, daß auch in meinen Versuchen eine verhältnismäßig tiefliegende Temperatur (3 — 12° C) das Eintreten der

Schädigung in den meisten Fällen um mehrere Tage zurückdrängte, während eine erhöhte Temperatur (28°, 33° C) die Giftwirkung beschleunigte. Auf das Auswachsen der Rhizoiden wirkten niedrige Temperaturgrade hemmend, die höher liegenden dagegen fördernd. Im letzteren Falle war die Anzahl der austreibenden Rhizoiden vermehrt, ein gesteigertes Längenwachstum aber wegen der frühzeitig einsetzenden Schädigung nicht zu beobachten. **Benecke** (S. 22), der seine Lunularia kulturen bei Temperaturen zwischen 8—24° C gehalten und ähnliche Ergebnisse erzielt hat, läßt die Frage offen, ob sich bei höherer Temperatur andere Erfolge zeigen würden. Die von mir mitgeteilten Befunde gelten in gleicher Weise für beide destillierten Wässer; ein gewisser Einfluß der Temperatur auf die schädliche Wirkung des destillierten Wassers ist somit zu erkennen.

Wurden Versuche bei erhöhter Temperatur (33 ° C), aber unter Lichtabschluß durchgeführt, so zeigte sich insofern eine Abweichung von den vorhergehenden, als die Ausbildung der Rhizoiden trotz der hohen Temperatur ganz unterblieb oder noch stärker als bei niedriger Temperatur zurückgedrängt wurde. Diese Erscheinung der Dunkelheit zuzuschreiben, lag nicht fern, hatte doch **Benecke** schon gezeigt, daß auf „reinem" Wasser, d. h. ohne „chemische Reizung", das Austreiben der Rhizoiden fast ganz gehemmt wurde, wenn für völligen Lichtabschluß gesorgt war. Er hatte festgestellt, daß die Rhizoiden sich nur bei Licht — oder bei geeigneter chemischer Reizung, unter gewissen Bedingungen nur bei Kombination von beiden, normal entwickeln konnten. Daß nicht jegliche chemische Reizung an sich ausreicht, bewies nun die Tatsache, daß selbst in „löslichen" Gläsern, von denen doch ein gewisser chemischer Reiz ausgeht, bei Dunkelheit nur kümmerliche Rhizoidbildung zu beobachten war.

Demzufolge mußte in Dunkelkulturen auf „reinem" Wasser, denen auch jene „chemische Reizung" fehlte, das Austreiben von Rhizoiden vollständig unterdrückt werden. Einige Versuche sollten nun darüber Aufschluß geben, ob diese Vermutung zutrifft. Versuchsobjekte waren hierbei Marchantia brutknospen. Als Kulturgefäße dienten Erlenmeyerkolben aus Jenaer Glas, Quarz und gewöhnlichem Glas, in denen sich 2 mal oder 3 mal destilliertes Wasser befand.

Ein Wachstum der Knospen trat niemals ein. In Jenaer Glas und Quarz zeigten sich in beiden Medien fast nie Rhizoiden.

Dagegen trieben sie in gewöhnlichem Glas in geringer Anzahl aus und erreichten eine Länge von 1—2 mm. Die Schädigung bzw. die Vergiftung der Objekte durch das destillierte Wasser trat meistens ebenso schnell ein wie im hellen Licht, häufig auch einige Tage eher, als im Licht. Die Stärke war aus den Zellen nicht verschwunden.

Wie wir nach den vorhergehenden Beobachtungen vermuten konnten, sind weder im Jenaer Glas noch im Quarz Rhizoiden ausgetrieben. Es beruht darauf, daß sowohl Licht wie chemische Reizung ausgeschaltet waren. Die Gefäße haben keine, zumindest keine wirksamen Stoffe an das reine Wasser abgegeben. Da, wie im vorigen Kapitel gezeigt worden ist, auf den gleichen Medien im Licht Rhizoiden austrieben, hat hier lediglich der Lichtabschluß ihre Entwicklung verhindert; denn nur in den „löslichen" Gläsern hätte chemische Reizung stattfinden können.

d) Zusammenfassung.

Somit haben wir einen Ueberblick über die Wirkung des destillierten Wassers in seinen verschiedenen Reinheitsgraden auf Pflanzen und über den Einfluß der Temperatur und der Dunkelheit auf die Wirkungsweise des destillierten Wassers gewonnen. Fassen wir die Ergebnisse des ganzen Abschnittes zusammen, so sehen wir, daß alle untersuchten destillierten Wässer auf die verschiedenen Pflanzen stets hemmend bzw. vergiftend wirken; und zwar nimmt diese Giftwirkung mit erhöhter Reinheit vom 1 mal destillierten Wasser — aus dem Glasapparat gewonnen —, zum 3 mal destillierten Wasser ständig zu.

Wenn wir uns nun die Frage vorlegen, warum ein „reines" destilliertes Wasser hemmend auf das Wachstum von Pflanzenzellen und weiterhin sogar vergiftend wirkt, so ist damit ohne weiteres die Frage zu verbinden, weshalb gerade das reinste Wasser die Schädigungen besonders heftig hervorruft. Letztere Tatsache deutet schon daraufhin, daß es sich bei der Giftwirkung um eine Eigenschaft handeln muß, die dem Wasser selbst zukommt. Mit den oben erläuterten Theorien von **Hansteen-Cranner, Sakamura, Bode** u. a. läßt sich eine Steigerung der Giftwirkung nach wiederholter Destillation nicht erklären. Ebenso spricht der Befund von **Mevius**

dagegen, daß häufiger Wechsel des destillierten Wassers die Schädigung auf die Objekte steigert. Wenn giftig wirkende Stoffe in das Wasser ausgetreten sein sollten, welche die starke Vergiftung hervorrufen, dann müßte sich diese in 2 mal und 3 mal destilliertem Wasser in gleicher Weise auswirken und ein wiederholter Wechsel des Wassers eine günstige Wirkung haben. Ferner läßt sich mit der Annahme, daß durch den osmotischen Wert der Flüssigkeit die Schädigung der Pflanzen bedingt wäre, der Befund nicht in Einklang bringen, daß in gewöhnlichen „löslichen" Gläsern oder nach Zusatz sehr geringer Mengen von Kalzium — und anderen Salzen, diese Frage wird weiter unten noch zu behandeln sein — die Giftwirkung zurückgedrängt wurde, da der osmotische Wert durch die geringen Spuren Alkali, die aus den Wandungen gelöst werden, bzw. durch den minimalen Zusatz jener Salze kaum geändert wird. So gewinnt die Hypothese von **Mevius**, daß die schädigenden Bestandteile im Wasser selbst zu suchen sind (diese Ansicht hatte schon **Bullot** vertreten), und daß die Giftwirkung von den H- und OH- Ionen des Wassers hervorgerufen wird, immer mehr an Wahrscheinlichkeit, zumal bisher jeder andere Deutungsversuch demgegenüber auf Schwierigkeiten stößt. Natürlich können die von den anderen Autoren angenommenen Gründe teilweise die Schädigung mit beeinflussen, wenn ihnen auch die alleinige Wirkung abgesprochen werden muß.

Wieweit der Polymerisationsgrad des Wassers für dessen Giftwirkung in Frage kommt (**Lloyd, F. E.** and **T. Cunliffe-Barnes**, 1932) sei dahingestellt.

4. Untersuchungen über die Beeinflussung der Giftwirkung des destillierten Wassers durch einzelne Salze.

Nachdem die Giftwirkung des destillierten Wassers auf unsere Versuchspflanzen durch die vorhergehenden Untersuchungen festgestellt worden war, kam die folgende Frage zur Bearbeitung: **Kann diese Giftwirkung durch Zusatz bestimmter Salze vermindert oder aufgehoben werden?**

Seitdem zuerst **Böhm** (1875) gefunden hatte, daß die giftige Wirkung von destilliertem Wasser durch Kalziumsalze aufgehoben oder vermindert werden kann, stellten später viele andere Forscher (vgl. **Portheim** (1901) und die dort zit. Lit.) fest, daß durch Zugabe von Kalzium- und auch anderer Salze die schädigende

Wirkung, die man bei Züchtung von Pflanzen in destilliertem Wasser findet, aufgehoben oder doch wenigstens gehemmt wurde.

Immerhin war zu den Zeiten **Böhm's** und auch später bis auf unsere Tage der Begriff: **„Reines Wasser, destilliertes Wasser"** noch durchaus problematisch, da in allen Versuchen der damaligen Zeit die Möglichkeit einer Verunreinigung des destillierten Wassers mit Kupfer oder anderen giftigen Substanzen nicht ausgeschlossen, ja in den meisten Fällen sogar zweifellos vorhanden war. So trat vielfach auch mehr die Frage der antagonistischen Wirkung von Ca-Salzen gegenüber andern im Wasser gelösten schädlichen Stoffen in den Vordergrund des Interesses, und erst die neuere oder neueste Zeit hat auf Grund exakter Versuche wieder Stellung genommen zu der alten Frage, ob „reines Wasser" wirklich giftig sei und ob es durch Salze oder andere Stoffe entgiftet werden könne. Nachdem ich nun in Bestätigung der oben genannten neueren Arbeiten festgestellt hatte, daß auch an den von mir benutzten Brutknospen und anderen Objekten wirklich eine Giftwirkung notorisch reinen Wassers nachzuweisen war, erhob sich natürlich auch für mich die Frage, ob und inwiefern eine solche Giftwirkung durch den Zusatz bestimmter Salze oder Salzgemische gehemmt werden kann und in welchen Konzentrationen solche Stoffe ihre Schutzwirkung am deutlichsten entfalten. Einige in dieser Hinsicht angestellte Versuche sollen jetzt kurz beschrieben werden.

Zur Anwendung kamen Natrium-, Kalium-, Ammonium-, Kalzium-, Strontium-, Eisen- und Zinksalze, die gelöst wurden in 2 mal destilliertem Wasser, dessen Giftwirkung bekannt war und auf welchem, wie oben ausgeführt, die Brutknospen nach durchschnittlich 10 Tagen die erste Schädigung zeigten und nach 20 Tagen abgestorben waren. Es wurde nun beobachtet, ob bei Salzzusatz die Schädigung bzw. der Tod nach längerer oder kürzerer Zeit als auf reinem Wasser eintrat.

Als Kulturkolben dienten Gefäße aus Jenaer Glas 20 oder aus Quarz, ohne daß sich ein Unterschied gezeigt hätte.

Versuchsobjekt: Brutknospen von Marchantia polymorpha. Die Kulturen standen am Nordfenster, also bei günstiger Beleuchtung.

Ich zähle nun die benutzten Salze auf unter Angabe der Konzentrationen, in denen sie zur Verwendung kamen.

Natriumchlorid. NaCl, Molekulargew.: 58,46.
0,05 % = mol/117; 0,005 % = mol/1170; **0,002 5** % = mol/2338
0,001 2 % = mol/4872; 0,000 6 % = mol/9743;

Kaliumchlorid. KCl, Molekulargew.: 74,56.
0,02 % = mol/373; 0,01 % = mol/75;
0,005 % = mol/1491; **0,002 5** % = mol/2982.

Kaliumsulfat. K_2SO_4, Molekulargew.: 174,27.
0,02 % = mol/871; 0,01 % = mol/1743; **0,002 5** % = mol/6971;

Ammoniumchlorid. NH_4Cl, Molekulargew.: 53,50.
0,01 % = mol/535; 0,005 % = mol/1070; **0,001** % = mol/5350.

Ammoniumnitrat. NH_4NO_3, Molekulargew.: 80,05.
0,01 % = mol/800; 0,005 % = mol/1601; **0,001** % = mol/8005.

Kalziumsulfat. $CaSO_4 + 2\ H_2O$, Molekulargew.: 172,16.
0,01 % = mol/1722; **0,001** % = mol/17216.

Kalziumchlorid. $CaCl_2$, Molekulargew.: 110,99.
0,01 % = mol/1110; **0,001** % = mol/11100.

Kalziumkarbonat. $CaCO_3$, Molekulargew.: 100,07.
Gesättigte Lösung = ca. 0,005 % = mol/2000; 0,001 % = mol/10000;

Strontiumchlorid. $SrCl_2 + 6\ H_2O$, Molekulargew.: 266,62.
0,02 % = mol/1333; 0,005 % = mol/5332; 0,004 % = mol/6665;
0,002 % = mol/13330; 0,0001 % = mol/266620;
0,000 01 % = mol/2666200.

Strontiumnitrat. $Sr(NO_3)_2$, Molekulargew.: 211,62.
0,02 % = mol/1058; 0,005 % = mol/4232; 0,004 % = mol/5291
0,002 % = mol/105 80; 0,000 1 % = mol/211 620;
0,000 01 % = mol/211 6200.

Eisensulfat. $FeSO_4 + 7\ H_2O$, Molekulargew.: 278,02.
0,000 4 % = mol/69500; 0,000 1 % = mol/278 020;
0,000 01 % = mol/278 0200.

Zinksulfat. $ZnSO_4 + 7\ H_2O$, Molekulargew.: 287,55.
0,0004 % = mol/718 87; 0,000 1 % = mol/287 550;
0,000 01 % = mol/287 5500.

Endlich wurden auch Eisen- und Zinksulfat gleichzeitig und in gleichen Mengen zugesetzt. Konzentrationen wie oben.

Auf Grund meiner Versuchsergebnisse kann ich nun die genannten Salze in zwei Gruppen einteilen, nämlich in solche, welche in geeigneter Konzentration dargeboten eine deutliche Schutzwirkung gegenüber der Giftwirkung des destillierten Wassers entfalten, und in eine zweite Gruppe, für die das nicht zutrifft.

Gruppe 1. Zu der ersten Gruppe gehören die Salze des Natrium, Kalium und Kalzium. Die Schutzwirkung erstreckt sich in erster Linie auf die Rhizoiden, welche eine Länge bis zu 7 mm erreichen können. Die Thalli bleiben naturgemäß wegen des Mangels an Nährstoffen in ihrer Entwicklung zurück, ohne daß sie aber geschädigt aussehen. Immerhin dauert es 35—40 Tage, d. h. mindestens doppelt so lange Zeit wie auf destilliertem Wasser, ehe sie verküm-

mern. Das Gesagte gilt aber nur für den Fall, daß richtige Konzentrationen angewendet werden. Bot ich z. B. 0,05 % NaCl = mol/117, so erwies sich diese Gabe schon als zu stark; die Knospen waren bereits nach ca. 15 Tagen abgestorben. Andererseits war eine Dosis von 0,000 6 % = mol/9743 zu klein, die Schädigung trat hier nach 20 Tagen ein, also etwa eben so früh, wie auf aqua dest.

Die optimale Wirkung der verschiedenen Salze ist aus der Tabelle zu ersehen, **auf welcher die optimalen Konzentrationen durch den Druck hervorgehoben sind.** NaCl wirkte, wie ersichtlich, optimal in einer Konzentration von rund mol/2500, KCl bei einer solchen von mol/3000, für $CaCl_2$ lauten die betr. Zahlen mol/111 00, für $CaSO_4$ mol/17216. Das Optimum liegt also für die Kalziumsalze erheblich niedriger als für die Alkalisalze.

Diese Wirkung deckt sich offenbar mit jener Erscheinung, die **Benecke** als „chemische Reizwirkung der Salze" bezeichnet hat. Jedenfalls bestätigen meine Befunde diejenigen von **Bullot** für Na-Salze, **Winkelmann, Scarth** und **Mevius** für K-Salze, **Cerighelli, Mevius** u. a. für Ca-Salze. Bei Verwendung von Ammoniumsalzen konnte ich eine gleich günstige Wirkung nicht erkennen, zumal die Rhizoiden dürften für NH_4-Gaben nicht so dankbar sein, wie für K- Na- oder Ca-Zusätze. Immerhin ließ sich durch Ammoniumsalze in geeigneter Konzentration (z. B. NH_4Cl, mol/5350) die Lebensdauer der Knospen um ca. 10 Tage im Vergleich zu aqua dest. verlängern.

Gruppe 2. Wir kommen jetzt zu der zweiten Gruppe von Salzen, denen des Strontium, des Eisen und des Zink, bei welchen ich eine Schutzwirkung gegenüber der Schädigung durch dest. Wasser nie beobachten konnte.

Die Rhizoiden machen auf Lösungen dieser Salze, soweit sie überhaupt austreiben, einen ungesunden Eindruck. Selbst in schwachen Konzentrationen ist die Schädigung schon frühzeitig zu sehen, und damit ist die Lebensdauer der Knospen stark herabgesetzt. Nur bei Verwendung gewöhnlicher Gläser war bei Strontiumsalzen ein etwas günstigerer Verlauf der Kulturen zu beobachten. Wahrscheinlich schwächten hier Stoffe, die aus der Gefäßwandung in Lösung gingen (Ca), die Giftwirkung des Strontiums und des destillierten Wassers ab.

In Lösungen von Strontiumnitrat, welches besonders gereinigt und „garantiert" Ca-frei war, trat bei einer Konzentration von 0,005 % = ca. mol/4232 die Schädigung der Thalluszellen und

Rhizoiden schon nach etwa sieben Tagen auf. Wendete man schwächere Konzentrationen an (0,00001 % = mol/211 6200), so zeigte sich die Giftwirkung etwas später, z. B. nach 12 Tagen.

Vergleichende Versuche mit Strontiumnitrat und Strontiumchlorid ergeben, daß in aequimolekularen Konzentrationen das Nitrat giftiger wirkt, als das Chlorid. Auch **Mevius**, der dieselben Strontium-Präparate benutzt hatte wie ich, beobachtete diesen Unterschied, führt ihn aber nicht auf eine verschieden starke Giftigkeit der Anionen, sondern auf eine Verunreinigung des benutzten Chlorides mit Ca zurück. **Wischmann** (1910) hatte bei Strontiumchlorid keine Schädigung oder Vergiftung seiner Objekte (Spirogyrafäden) feststellen können, lediglich bei einer Konzentration von 0,12 mol trat eine geringe schädigende Wirkung zutage. Auch in diesem Falle darf man vermuten, daß eine Verunreinigung des Strontiumchlorids durch Kalzium vorlag.

Eisen- und Zinksalze zeigen ebenfalls keinerlei Schutzwirkung. In einer Lösung von 0,00001 % $ZnSO_4$ = mol/287 5500 wird das Austreiben der Rhizoiden unterbunden, und die Knospen gehen nach etwa 10 Tagen zugrunde. In Eisensulfatlösungen der gleichen Konzentration sterben die Knospen, nachdem sie vereinzelte Rhizoiden getrieben hatten, nach ca. 15 Tagen ab.

Die starke Giftwirkung der Strontium-, Eisen- und Zinksalze erinnert uns an die gleichsinnigen Befunde von **Mevius** an den Wurzeln von Onobrychis, Pinus Pinaster, Callisia und Tradescantia; obwohl er die Giftwirkung des destillierten Wassers durch Zusatz von $CaCl_2$ ausgeschaltet hatte, bedingten die drei genannten Salze schon in geringen Konzentrationen schwere Vergiftungserscheinungen.

Jedenfalls konnte ich die von **Scarth** angegebene Entgiftung des destillierten Wassers durch Zusatz von Strontium- oder von Zinksalzen an meinen Versuchsobjekten nicht finden.

Auch der **gleichzeitige** Zusatz von Eisen- und Zinksalzen bedingt hier keine wesentliche Schutzwirkung, wie das in den Versuchen von **Roberg** und von **Mevius** der Fall gewesen war. Nur in ganz schwachen Konzentrationen schien die gemeinsame Einwirkung der beiden Salze einen etwas günstigeren Einfluß zu haben; denn in solchen ließ der Tod der Knospen eher etwas länger auf sich warten, als in entsprechenden Lösungen jedes einzelnen Salzes.[9])

[9]) Ueber den Einfluß verschiedener Ionen aufeinander (Antagonismus), siehe auch Wischmann, S. 10 ff. und Pirschle II. S. 54 ff.

Auf Grund der eben auf S. 20–24 geschilderten Versuche ließ es sich also ermöglichen, die Salze in zwei Gruppen zu trennen, solche, die innerhalb bestimmter Konzentrationsgrenzen, aber auch nur innerhalb dieser, Schutzwirkung entfalten, andere, die in allen untersuchten Konzentrationen nicht schützen sondern schädigen.

Für andere als meine Versuchspflanzen scheint es nicht so leicht zu sein, eine so scharfe Scheidung durchzuführen; denn nach Angaben verschiedener Forscher hängt die Wirkungsweise eines Salzes, das man in wässriger Lösung darbietet, von dem Versuchsobjekte ab. Ich verweise hier nur auf die Arbeiten von **Pirschle** (I), auf die nachher noch zurückzukommen sein wird. Kalziumsalze entfalteten auch in seinen Versuchen (die Konzentrationen lagen hier zwischen mol/50 und mol/200, waren also erheblich höher, als in unseren Versuchen) fast immer Schutzwirkung, aber Kalziumnitrat konnte z. B. auf Sojabohnenwurzeln auch schädlich wirken. Strontiumchlorid, das, wie bei uns immer, so auch meist bei **Pirschle** keinerlei Schutzwirkung zeigte, schützte aber Sprosse von Pisum und Wurzeln von Helianthus. Als Nitrat schützte Strontium Sprosse und Wurzeln von Sonnenblume und Mais, als Sulfat Pisumwurzeln und Hordeumsprosse. (Bedenken, die Konzentration betreffend s. weiter unten. — Auch das von uns nicht geprüfte, vielfach sonst als giftig befundene $MgCl_2$ schützte in seinen Versuchen in einem Falle, nämlich bei den Wurzeln von Pisum.) Auch die Alkalisalze, als Chloride, Nitrate oder Sulfate geboten, schützten manche Pflanzen, andere wieder nicht.[10])

Im vorigen Abschnitt wurde hauptsächlich Wert gelegt auf die Beantwortung der Frage, inwieweit die Schutzwirkung verschiedener Salze auf Marchantia-Brutknospen, sofern sich eine solche überhaupt erkennen läßt, eine Funktion ihrer Konzentration ist. Außerdem konnten aber auch schon einige vergleichende Schlüsse auf die Wirksamkeit verschiedener Ionen, z. B. K, Na usw., die in gleicher mol/Konzentration geboten wurden, gezogen werden. — Nunmehr soll diese letzte Frage uns noch etwas eingehender beschäf-

[10]) Die Angaben Pirschle's über die Wirkung von NH_4Cl sind nicht ganz eindeutig. Nach der Tab. auf S. 342 soll dies Salz auf Wurzeln von Pisum und auf Sprosse und Wurzeln von Helianthus eine Schutzwirkung ausgeübt haben, nach der Tab. auf S. 340 aber nicht. — Er spricht (S. 336) unter Bezugnahme auf die Versuche von Mevius von der physiologischen Giftwirkung reinsten destillierten Wassers. Auch findet sich in der Reihe von Stoffen, die ihrer steigenden Giftwirkung nach angeordnet sind, in den meisten Fällen auch das dest. Wasser an einer bestimmten Stelle verzeichnet. Gleichwohl spricht er im Text noch die Meinung aus, daß das dest. Wasser diese schädigende Wirkung nicht zeige, die von bestimmten Salzlösungen ausgeht. — Siehe dazu das Ref. von Mevius (1931).

tigen und zwar im Anschluß an die genannte Arbeit Pirschles (I) über die Wirkung homologer Ionenreihen.[11])

5. Die physiologische Wirkung homologer Ionenreihen auf die Entwicklung der Brutknospen von Marchantia polymorpha.

Die Frage, ob zwischen der Stellung der Elemente im periodischen System und ihrer physiologischen Wirkung auf Pflanzen Beziehungen bestehen, ist schon früher gelegentlich diskutiert worden. **Erréra** (1886) und **Benecke** (1894) sprachen die Vermutung aus, daß die physiologischen Wirkungen der Elemente bis zu einem gewissen Grade Funktionen ihrer Atomgewichte seien.[12]) Mit ähnlicher Fragestellung arbeitete **Pirschle** (I). Am Längenwachstum der Sprosse und Keimlinge verschiedener Pflanzen (daneben auch an der Kohlensäurebildung von Hefe und der Transpiration von Tradescantia), die in Salzlösungen gezüchtet wurden, suchte er nachzuweisen, daß „in den Reihen der Alkalien und Erdalkalien und der Halogene die Giftwirkung der Salze innerhalb einer jeden Reihe mit steigender Ordnungszahl zuerst zunimmt dann abnimmt." Im Allgemeinen liegt also bei den Alkalien das Optimum beim Kalium (evtl. beim Na), bei den Erdalkalien beim Kalzium, bei den Halogenen beim Chlor. Am günstigsten wirkt der Argontypus; die Giftwirkung wird umso deutlicher, je mehr sich das Element dem Helion- oder Xenontypus nähert.[13])

Pirschle ging von den im vorigen Abschnitte genannten Beobachtungen verschiedener Autoren aus, denen zufolge in Lösungen gewisser Salze Pflanzenkeimlinge nach kurzer Zeit unter Krankheitserscheinungen, die besonders an den Wurzeln auftraten, abstarben. Nahrungsmangel allein konnte keinesfalls der Grund sein, da in den ersten Stadien der Entwicklung die Keimlinge fast nur von Reservestoffen leben, ferner Wachstumstörung nicht auftrat oder doch stark zurückgedrängt wurde. Bemerkenswert war nun, daß Kalziumsalze keinen schädigenden Einfluß ausübten. Da Kalzium

---

[11]) Die zweite, gleich betitelte Arbeit Pirschles, welche, wie eingangs gesagt, nur noch in nachträglichen Anmerkungen berücksichtigt werden konnte, enthält Angaben über den Einfluß der Konzentration und der chemischen Reaktion der Salzlösungen, über Antagonismus und Synergismus, Temperatur- und Lichteinfluß, sowie eingehende theoretische Diskussionen.

[12]) Kritische Besprechung dieser Frage in Pfeffers Pflanzenphysiologie, Bd. 1, S. 419 (1897).

[13]) Eingehende Diskussion über die Beziehungen zwischen der physiologischen Wirkung und dem Atombau (Dichte der elektrischen Ladung, Ionenradius) bei Pirschle II, in den allgemeinen Schlußbetrachtungen, S. 76.

selbst zwar für die Pflanze notwendig ist, aber keineswegs andere Elemente zu ersetzen vermag, mußte also neben dem „chemischen Nährwert" ebenso die physikalisch-chemische Wirkung eines Elementes auf die Pflanzenzelle von Bedeutung sein.

Pirschle benutzte zu seinen umfangreichen Untersuchungen die Chloride, Sulfate und Nitrate der Alkalien und Erdalkalien, sowie Kalium-, Natrium- und Ammoniumsalze der Halogene. Als Versuchspflanzen dienten ihm Keimlinge von Zea Mays, Pisum sativum, Gossypium herbaceum, Helianthus annuus, Hordeum distichum, Soja hispida.

Auf Grund seiner Beobachtungen stellte er zahlreiche „Wirkungsreihen" auf, in denen für die einzelnen Pflanzen bzw. ihre Organe die Elemente in verschiedensten Stellungen wiederkehren. So z. B. bei den **Alkalien** (das NH_4 nahm er, als chemisch und physiologisch in die Reihe gehörig, mit hinein):

$Na < NH_4 < K < Rb < Cs < Li$

⟿⟶ steigende Giftwirkung

mit wechselnden Stellungen der vier ersten Glieder untereinander, sowie der zwei letzten.

Bei den **Erdalkalien**:

$Ca < Sr < Mg < Ba < Be$ oder

$Ca < Sr < Mg < Be < Ba$

Bei den **Halogenen**:

$Br < Cl < J < F$

mit wechselnder Stellung der zwei ersten und zwei letzten Elemente untereinander.

Wegen der Unübersichtlichkeit dieser Tabellen übertrug er die gefundenen Wirkungsreihen auf ein Koordinatensystem, auf dessen Abszisse die Ordnungszahlen der Elemente und auf deren Ordinate die dazu gehörigen physiologischen Wirkungen, (d. h. die jeweilige Längenzunahme der Sprosse und Wurzeln) verzeichnet waren. So erhielt er übersichtliche Kurven mit einem ausgeprägten Maximum; häufig waren die Kurven durch steilen Anstieg und langsamen Abfall gekennzeichnet. Es geht daraus hervor, daß in den drei Gruppen „die physiologische Wirkung der Elemente mit steigender oder fallender Ordnungszahl nicht schlechthin steigt oder fällt, sondern mit einer gewissen Gesetzmäßigkeit derart verläuft, daß die Anfangs- und Endglieder jeder Reihe am giftigsten sind, und daß der

Optimalpunkt relativ geringster Giftwirkung etwa in der Mitte der Reihe liegt."

In weiteren ähnlichen Versuchen über den Einfluß dieser Ionen-Reihen auf die Kohlensäureproduktion gärender Hefe, sowie auf die Transpiration von Tradescantia-Sprossen, konnte er seine Beobachtungen bestätigen. Bei den Schwermetallen fand er eine derartige Gesetzmäßigkeit nicht, hier verliefen die Kurven vielmehr durchaus unregelmäßig („Zickzack-Kurven").

Da diese Fragen mit meinen vorhergehenden Untersuchungen, in denen die Schutzwirkung verschiedener Salze gegenüber dem giftigen Einfluß des reinen Wassers geprüft worden war, in Zusammenhang standen, wiederholte ich einige der Versuche von **Pirschle**. Bei verschiedenen der früher benutzten Salze hatte ich einen wirksamen Schutz gegenüber den schädigenden Einflüssen des Wassers feststellen können, ohne dabei diese Wirkung mit der Stellung der einzelnen Salze bzw. Elemente im periodischen System in Verbindung zu bringen. Es sei hier die Arbeit von **Wischmann** erwähnt, der bei seinen Untersuchungen über die Giftwirkung von Electrolyten und Electrolytgemischen auf Spirogyra festgestellt hatte, daß zweiwertige Ionen (Ca, Sr, Mg) eine erheblich geringere Giftwirkung ausübten als einwertige Kationen (Na, K, Li, Rb, NH_4 als Chloride). Demzufolge gibt er die Reihe steigender Giftwirkung an:

$Sr < Ca < Mg < Na < Rb < K < Li < NH_4$

In meinen Versuchen sollte sich nun zeigen, ob jene von **Pirschle** beobachtete Gesetzmäßigkeit in der Wirkung homologer Ionen-Reihen auch bei Marchantia-Brutknospen zu beobachten war.

Die Schädigung, welche ich in Bestätigung früherer Arbeiten bei „reinem" Wasser gefunden hatte, hat **Pirschle** ebenfalls beobachtet; denn er führt in den Wirkungsreihen auch das destillierte Wasser auf und vergleicht die Wirkung des reinen Wassers mit der von Salzlösungen. Doch hat er im Allgemeinen keine so starke Schädigung gefunden, wie andere Autoren und ich selbst; so steht z. B. Wasser bei ihm zwischen Ca und Sr oder zwischen Sr und Mg in der Erdalkalienreihe, in der Alkalireihe sogar ganz links, also war es ungiftiger als das am wenigsten schädliche Element. **Mevius** spricht in einem Referat die Vermutung aus, daß „das von **Pirschle** benutzte Wasser nicht den Reinheitsgrad besessen hat, der unbedingt gefordert werden muß", er glaubt aber, daß dies auf die Wirkung der Salzlösungen keinen Einfluß gehabt habe. Allerdings hat **Pirschle** Wasser benutzt, das aus einem Aluminium-Destillierapparat,

dann noch 2 mal unter Benutzung eines Quarzkühlers gewonnen worden war.

Jedenfalls nimmt in den von mir gefundenen Wirkungsreihen das destillierte Wasser eine andere Stellung ein als bei ihm.

Pirschle arbeitete mit Lösungen zwischen mol/50 bis mol/200, also erheblich stärkeren Lösungen, als ich benutzt hatte[14]). Es ist aber, wie **Mevius** betont, nicht verständlich, wie er die zum Teil sehr schwer löslichen Salze (z. B. $SrSO_4$, Löslichkeit in 100 gr H_2O bei 18°C = $11{,}4 \times 10^{-3}$g; oder $BaSO_4$, Löslichkeit in 100 g H_2O bei 18°C = $2{,}3 \times 10^{-4}$g) in solcher Konzentration in Lösung bringen konnte.

Meine Versuche ergaben folgendes:

a) Alkalien.

Bei den Alkalisalzen in Lösungen von mol/1200 trat eine nennenswerte Entwicklung niemals ein. Bei **Lithium** war die Schädigung so stark, daß Rhizoiden überhaupt nicht auswuchsen und die Thalli nach 10 Tagen angegriffen waren. Die Pflanzen gingen innerhalb 18 — 20 Tagen zu Grunde. Bei **Natrium, Kalium** und **Rubidium** lagen die Verhältnisse günstiger. Es wurden Rhizoiden entwickelt, die eine Länge bis 6 mm erreichten. Eine Schädigung der Thalli trat bei Natrium und Kalium[15]) nach 18 Tagen ein. Der Zeitpunkt des Absterbens der Brutknospen lag übereinstimmend zwischen 35 bis 40 Tagen; ihre chemische Verwandtschaft kommt darin zum Ausdruck. Bei Rubidium waren zu diesem Zeitpunkt nur einzelne Zellen geschädigt; später erst gingen die Thalli zugrunde. Seine Giftwirkung ist also für Marchantia relativ gering. Das **Cäsium** zeigte die gleiche stark schädigende Wirkung wie das Lithium. Schon nach 18 Tagen waren keine lebenden Brutknospen mehr vorhanden.

Die Wirkungsreihe der **Alkalien**[16]) lautet also für Marchantia-Brutknospen:

$Rb < Na < K < Li < Cs$

---

[14]) Ueber die Aenderung der Reihenfolge der verschiedenen Elemente in den Wirkungsreihen in Abhängigkeit von der Konzentration vgl. auch die bei Pirschle (II, S. 80) zit. Arbeiten von Brauner, Boas u. a. Forschern. Pirschle nennt die von ihm verwendeten Konzentrationen (mol/50 bis mol/200) bereits sehr niedrige, welche sich dem Idealfall extrem verdünnter Lösungen schon sehr nähern. In äußerst stark verdünnten Lösungen, etwa von mol/1 Mill. wird die Reihenfolge der Elemente undeutlich. Auch in stärkeren Lösungen, etwa von mol/1 oder mol/10, findet er keinen deutlichen Unterschied in der Wirkung der Ionen einer Reihe mehr.

[15]) Ueber Ammonium vergl. S. 27.

[16]) Bei Pirschle findet sich eine andere Reihenfolge: hier war K oder in anderen Fällen Na am wenigsten giftig, Rb steht mehr in der Mitte. Anderer-

b) Erdalkalien.

Von den Erdalkalien zeigten **Beryllium, Magnesium** und besonders **Barium** eine starke Giftwirkung auf die Brutknospen. Eine Entwicklung von Rhizoiden kam in allen drei Fällen nicht zustande. Die Thalli gingen nach 15, 18 bzw. 12 Tagen zugrunde. Am weitaus günstigsten war die Wirkung des **Kalziums**. Die Thalli zeigten eine schwache Entwicklung und trieben bis 20 Rhizoiden von 3 — 4 mm Länge aus. Erst nach 30 Tagen trat eine Schädigung der Brutknospen auf. **Strontium** zeigte bedeutend früher eine Giftwirkung, die Brutknospen gingen nach 20 — 22 Tagen zugrunde. Eine Anzahl kurzer Rhizoiden wurde entwickelt.

Die Wirkungsreihe der **Erdalkalien**[17]) verläuft also für Marchantia-Brutknospen:

$Ca < Sr < Mg < Be < Ba$

c) Halogene.

Von den Halogenverbindungen unterdrückten nur **Jodide** die Ausbildung von Rhizoiden. Die Brutknospen zeigten schon nach 15 Tagen erhebliche Schädigung und starben innerhalb 18 — 20 Tagen ab. Auf **Fluoriden** gingen die Brutknospen innerhalb 28 Tagen zugrunde, die wenigen kurzen Rhizoiden waren bereits nach 18 Tagen geschädigt. **Chloride** und **Bromide** ließen die Brutknospen längere Zeit ohne Schädigung und erlaubten die Bildung normaler Rhizoiden, die auf Chloriden eine Länge von etwa 6 mm erreichten, dann wurden sie geschädigt, während Bromide keine Vergiftung des Rhizoid-Plasmas bewirkten. Nach 40 Tagen gingen die Thalli auf Chloriden und Bromiden zugrunde.

Es folgt daraus die Wirkungsreihe der **Halogene**:

$Br < Cl < F < J$

Um ein klares Bild der gefundenen Reihen zu erhalten, übertrug ich die Beobachtungen nach dem Beispiel **Pirschles** in ein Koordinatensystem, und zwar in der Weise, daß auf der Abszisse die Ordnungszahlen der Elemente, auf der Ordinate die „Schädigungszahlen" eingezeichnet wurden. In diesen Schädigungszahlen

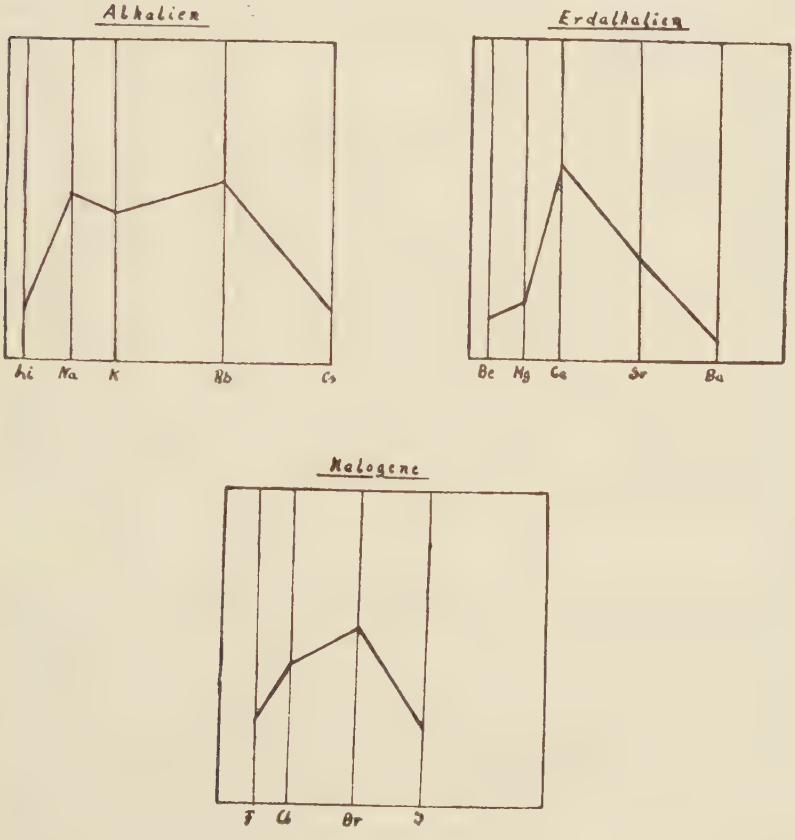
---

seits deckt sich die Tatsache bei Pirschle und bei mir, daß entweder Li oder Cs am giftigsten war.

[17]) Pirschle findet die gleiche Reihenfolge für den Sproß von Zea, bei anderen Objekten gibt er andere Folgen an.

sind nach einem bestimmten System[18]) alle Schädigungen, die sich sowohl auf die Brutknospen wie auf die Rhizoiden beziehen, zusammen gefaßt. Zwei verschiedene Kurven zu geben, wie es **Pirschle** für „Trieb und Wurzel" getan hatte, schien nicht zweckmäßig, da bei meinem Versuchsobjekt mehrfach die Ausbildung der Rhizoiden unterblieb, und somit die Wirkung der betreffenden Elemente in derartigen Fällen nicht klar zum Ausdruck gekommen wäre.

Wie verhalten sich nun die Kurven **Pirschles** zu denen, die ich für Marchantia-Brutknospen gefunden habe?



[18]) Dieses System war derartig aufgebaut, daß, unter Berücksichtigung des Zeitpunktes, für Anzeichen von schwacher oder starker Schädigung bei den Thalli (Wachstumstillstand, Absterben einzelner Zellen, Chlorophyllschwund, Verkümmerung) und den Rhizoiden (geringe Zahl, schwaches Längenwachstum, Plasmaschrumpfung, blasige Anschwellung, Verkümmerung, kein Austreiben), nach bestimmten Zeitabschnitten (von 5 zu 5 Tagen) Zahlen eingesetzt wurden. (anfangend mit 1). Die Summe dieser Zahlen wurde auf der Ordinate eingetragen.

Betrachten wir zunächst die **Alkalien**: Lithium am Anfang und Caesium am Ende der Reihe zeigen die stärksten Giftwirkungen.[19]) Die Ausbildung von Rhizoiden wird vollständig unterdrückt. Auch in den Kurven von **Pirschle** stehen diese beiden Elemente stets am tiefsten. Die chemische Verwandtschaft zwischen Na und K kommt deutlich in ihrer ähnlichen Stellung zum Ausdruck. Natrium nimmt die günstigste Lage ein.[20]) Auffällig ist, daß bei Kalium meine Kurve einen Abfall zeigt, während bei **Pirschle** (I) Kalium durchschnittlich viel besser wirkt; das Rubidium steht in meiner Kurve günstiger. Die relativ geringste Giftwirkung des Rubidiums ist verwunderlich, doch findet sich auch in den Reihen **Pirschles,** wenn auch nur selten, eine ähnliche Stellung.[21])

Bei den **Erdalkalien** bedingen ebenfalls die Anfangs- und Endglieder Be und Ba die größte Schädigung. Eine Entwicklung von Rhizoiden findet nicht statt. Bei **Pirschle** finden wir die beiden Elemente ständig an den tiefsten Punkten der Kurven. Das Kalzium erreicht den „Optimalpunkt." In Abständen folgen Strontium und Magnesium. Die Kurve fällt etwas schwächer zum Strontium ab, steigt dagegen vom Magnesium zum Kalzium steil an. Sie folgt somit der Gesetzmäßigkeit und dem Verlauf der Kurve, die **Pirschle** bei den Erdalkalien gefunden hatte.

Die **Halogene** ordnen sich so, daß wiederum die Glieder am Anfang und Ende, Fluor und Jod, die ungünstigste, d. h. tiefste Stellung einnehmen. Das Brom ist dem Chlor überlegen und nimmt den Optimalpunkt ein. Bei **Pirschle** finden wir verschiedentlich dieselbe Stellung.[22])

Meine Beobachtungen bestätigen grundsätzlich die Feststellungen **Pirschles,** insbesondere die, daß die Anfangs- (Beryllium, Lithium, Fluor) und Endglieder (Barium, Caesium, Jod) jeder Reihe

---

[19]) Bei Lithium nimmt in den Versuchen von Pirschle (II. S. 10) die Giftwirkung mit der Konzentration rapide ab; es ist nur bei relativ hohen Konzentrationen sehr giftig. (mol/10 oder mol/100). Daß Li giftiger ist als Na oder Na bzw. Cs giftiger als Rb, läßt sich noch in stärker verdünnten Lösungen nachweisen.

[20]) Bei Pirschle bleibt mit zunehmender Verdünnung K hinter Na etwas zurück, zumal rücksichtlich Beeinflussung der Sproßlänge sonst im allg. K sehr nahe Na. — Vgl. auch seine Andeutungen auf S. 78/79.

[21]) Wir finden bei Pirschle bei Verwendung von Chloriden: für Pisum (Wurzel und Sproß) die Reihe: $H_2O < K < Rb < Na$; für Gossypium (Wurzel): $H_2O < K < Rb < Na$. Bei Verwendung von Nitraten: für Pisum (Sproß): $H_2O < K < Rb < Na$, für Soja (Sproß): $H_2O < K < Rb < Na$. Sonst steht Rb bei ihm immer rechts von K und Na.

[22]) Bei Pirschle (S. 341) wirkte Br 2 mal, Cl 4 mal als Kaliumsalz am besten. Als Natriumsalz Cl stets besser als Br, desgleichen als Ammoniumsalz.

am giftigsten wirken. Es liegt dann naturgemäß in den Reihen „der Optimalpunkt relativ geringster Giftwirkung etwa in der Mitte" (Kalzium, Natrium, Brom). Ein verhältnismäßig steiler Anstieg und langsamer Abfall der Kurven tritt bei meinen Versuchen nur bei den Erdalkalien deutlich in Erscheinung.

Eine allgemein gültige Beziehung läßt sich aus meinen wenigen Versuchen, die zudem nur an einem Objekt angestellt sind, nicht geben, zumal die physiologische Wirkung eines Elementes auf die einzelnen Pflanzen verschieden ist. Doch scheint die Größe der Atome bzw. der Ionen mit der physiologischen Wirkung eines Elementes in Zusammenhang zu stehen. Wenn eine derartige Abhängigkeit besteht zwischen der Stellung eines Elementes im periodischen System und seiner physiologischen Wirkung, dann würde der Wasserstoff in Form von $H^{\cdot}$, etwa als HCl, H_2SO_4 oder HNO_3, in einer Lösung von mol/200, wie **Pirschle** sie anwandte, sehr giftig, stärker als etwa $Li^{\cdot}$, $K^{\cdot}$ usw. wirken. Der auftretende P_H—Wert von 1—2 wird von kaum einer Pflanze ertragen; $H^{\cdot}$ (**Pirschle** I S. 356) weist also tatsächlich die stärkste Giftwirkung auf. Es widerspricht das nicht der oben angedeuteten Hypothese über die Giftwirkung des destillierten Wassers (S. 5 u. 20).

Die interessanten Beobachtungen **Pirschles** sind jedenfalls als Grundlage für weitere Untersuchungen dieser Fragen sehr geeignet.

Teil II.

Die Entwicklung einiger Lebermoose auf vollständigen und unvollständigen Nährlösungen.

Bei **Benecke** (1903) finden wir zahlreiche Hinweise auf frühere Arbeiten angeführt, die von Morphologie und Physiologie der Lebermoose handeln, in welchen ein reichhaltiges Material zusammengetragen ist. Er selbst macht viele Angaben über das Wachstum von Vertretern der genannten Pflanzenklasse auf vollständigen Nährlösungen, außerdem über ihre morphogenetischen, z. T. oekologisch wohl verständlichen Reaktionen, wenn man sie auf unvollständigen Lösungen züchtet; wir kommen darauf unten noch wieder zurück. Von später, d. h. nach 1903 erschienenen Arbeiten seien nun diejenigen hier kurz referiert, die sich auf die Entwicklung von Thallus und Rhizoiden von Lebermoosen auf verschiedenen Nährlösungen beziehen. Ein vergleichender Blick sei auf entsprechende Arbeiten mit Laubmoosen geworfen.

Beginnen wir mit einer der letzteren, so sei daran erinnert, daß 1906 **Schoene** eine sehr genaue Uebersicht über die Literatur gibt, welche die Keimungsmorphologie und -biologie der Laubmoossporen behandelt, die manche bemerkenswerte Vergleichsmomente mit Lebermoosstudien ergeben. Er findet, ähnlich wie vorher **Benecke** bei Riccia, daß bei den Ruderalmoosen, Funaria und Physcomitrium, deren Sporen bei der Keimung sowohl Rhizoiden als auch Chloronema bilden, (die der anderen Moose bilden keine Rhizoiden) die Sporen bei Stickstoffmangel ihre Rhizoiden stark überverlängern, während das Chloronema unter diesen Umständen unterdrückt wird. Phosphatmangel hemmt zuerst die Keimung, dann aber entwickeln sich die Rhizoiden, die schließlich stark verlängert auswachsen, ohne aber die Länge der bei N-Hunger gebildeten zu erreichen. Das Chloronema wird durch Phosphatmangel stark gehemmt. **Schoene** wendet sich gegen die Ansicht von **Paul** (1903), welcher die Meinung vertreten hatte, daß die Rhizoiden der Laubmoose lediglich Haftorgane seien. Bei den Moosen mit Zentralstrang sei vielmehr ihre Ernährungsfunktion deutlich ausge-

bildet, um bei den zentralstrangfreien abzunehmen und bei den Wassermoosen endlich ganz zu schwinden.

Weinert (1909) behandelt im Wesentlichen nur den Geo- und Heliotropismus der Rhizoiden von Marchantia; chemische Fragen sind kaum besprochen, nur wird erwähnt, daß auf bestimmten Salzlösungen das heliotropische Verhalten dasselbe sei, wie bei Kultur auf Wasser.

Bei **Dachnowsky** (1907) finden wir Angaben darüber, daß, abgesehen von der Bedeutung der Feuchtigkeit für die Entwicklung und die Rhizoidenbildung der Brutknospen von Marchantia, besonders der Reifegrad der Knospen und das Alter der Brutbecher von Bedeutung für die Entwicklung sei. Er züchtete seine Pflanzen auf Erdboden oder auf **Knop'scher** Nährlösung, berührt aber im übrigen chemische Fragen kaum. Im Dunkeln entwickeln sich ihm zufolge die Rhizoiden nicht oder beinahe nicht. —

In methodischer Hinsicht überragt die Arbeit von **Förster** (1927) die seiner Vorgänger auf diesem Gebiete ganz entschieden. Wir finden bei ihm eine eingehende Behandlung des morphogenetischen Einflusses der Temperatur (Verlangsamung des Wachstums, aber Verstärkung der „Flügelbildung" durch tiefe Temperatur), der Belichtung, des Wassergehaltes des Substrates auf die Marchantia brutknospen. Erhöhung der Nährlösungskonzentration wirkt wie zunehmende Trockenheit, mit steigender Konzentration nimmt die Länge des Thallus erst zu, um dann abzufallen, während die Breite dann dauernd zunimmt. Gleichzeitig stellte sich Gewichtzunahme ein und, da diese „auch bei Steigerung der Konzentration durch NaCl eintritt, ist erwiesen, daß der Einfluß verschieden konzentrierter Lösungen nicht auf ihrer Nährkraft sondern auf ihrem osmotischen Wert beruht." Im übrigen finden sich bei **Förster** nur wenig Beziehungen zu meiner Fragestellung. Jene oben erwähnte Entstehung von adventiven Bildungen am Thallus wird von diesem Autor zum ersten Mal eingehend beschrieben. In Dunkelheit fand er bei den Brutknospen keine Entwicklung, sie erwiesen sich vielmehr als „ausgesprochene Lichtkeimer."

Lilienstern (1927) untersucht die Wirkung der Lichtintensität, der Bodenfeuchtigkeit und der Salzkonzentration auf die Entwicklung der Brutknospen von Marchantia. Erhöhte Salzkonzentration soll nach ihr xerophytischen Habitus auslösen. Eine Bodenfeuchtigkeit von ca. 40% der vollen Wasserkapazität stellt das Optimum

vor. Sie arbeitete mit sterilen Kulturen; wie sie die Sterilität erreicht und geprüft hat, sagt sie jedoch nicht.

Ich hatte es mir nun zur Aufgabe gemacht, etwaige Unterschiede in der Entwicklung vom Sproß und von den Rhizoiden einiger Lebermoose auf vollständigen und unvollständigen Nährlösungen näher kennen zu lernen und die Ernährungsbedingungen zu untersuchen. Außer den von **Benecke** benutzten Lunularia-Brutknospen dienten mir solche von Marchantia polymorpha und Thallusstücke von Riccia fluitans als Versuchsobjekte. **Benecke**, der auch einige Untersuchungen mit der letzteren Pflanze anstellte, machte schon darauf aufmerksam, daß die formenreiche Gruppe der Lebermoose geeignete Objekte zur Bearbeitung solcher Fragen aufweise.

Die benutzten Salze stammten von **Merck** Darmstadt, „purissimum und pro analysi", sie wurden in 3 mal destilliertem Wasser gelöst, dessen Wirkung bekannt war.

Als Kulturgefäße dienten Erlenmeyerkolben aus Jenaer Glas 20.

1. Vollständige Nährlösungen.

Die zunächst folgenden Untersuchungen sollen ein Bild von der Entwicklung und Ausgestaltung der Thalli und Rhizoiden jener drei Lebermoose auf **vollständigen** Nährlösungen bei normaler Belichtung geben. Gleichzeitig wurden auch Dunkelkulturen und solche, die nur von unten belichtet waren, angesetzt.

Es wurden vier verschiedene Nährsalzlösungen benutzt, die in Tabelle 2 (S. 50) angegeben sind, ohne daß sich ein großer Unterschied gezeigt hätte. Die Entwicklung war auf allen vier Lösungen gleich kräftig und gut.

Die Versuche zeigen, zunächst für die Brutknospen von Marchantia, daß bei vollständiger Ernährung, **günstigen Licht- und Temperaturverhältnissen** eine schnelle und kräftige Entwicklung der Sprosse und Rhizoiden erfolgt. Die lebhaft grünen Thalli wachsen wochenlang ohne Beeinträchtigung und erreichen bereits innerhalb 20 Tagen eine Länge bis zu 1 cm. Auch werden Luftkammern angelegt. Eine Ausbildung von Geschlechtsorganen oder Brutbechern fand jedoch in meinen Kulturen während der Versuchsdauer niemals statt. **Lilienstern** konnte dagegen an ihren Kulturen die Entwicklung von vegetativen und geschlechtlichen Fortpflanzungsorganen beobachten. Vielleicht liegt das unterschiedliche Verhalten meiner

Versuchsobjekte in der relativ kurzen Beobachtungszeit; denn die nach einiger Zeit einsetzende starke Veralgung — es wurde ja nicht mit sterilen Kulturen gearbeitet —, verhinderte ein weiteres Gedeihen der Objekte und forderte den Abbruch der Versuche. Die Rhizoiden erreichen eine mittlere Länge und zeigen an den Spitzen starke Plasmaansammlung. Die Stärke schwindet aus den Thalli mit zunehmender Entwicklung.

Bei der geringeren Lichtmenge, die den Thallus auf von **unten belichteten** Lösungen trifft, bleibt dieser im Wachstum etwas zurück. Die Stärke der Belichtung hat, wie auch **Förster** beobachtete, einen bestimmenden Einfluß auf die Größenentwicklung der Sprosse. Je mehr Licht den Thallus trifft — natürlich bis zu einer gewissen Intensität — desto kräftiger ist das Wachstum. Die Rhizoiden entwickeln sich fast ausschließlich auf der dem Licht abgewandten Seite und wachsen infolgedessen seitlich oder nach oben aus der Nährlösung heraus in den feuchten Raum hinein. Vielfach knicken sie nach einiger Zeit um und gelangen so in die Flüssigkeit.

In **Dunkelkulturen** wird die Entwicklung der Sprosse gehemmt. Die Thalli, die sich nur am Licht normal entwickeln können, wachsen zu schmalen, unregelmäßigen Formen aus und verlieren langsam ihre intensiv grüne Farbe. Auch die Rhizoiden erreichen meist weder Zahl noch Länge derjenigen in beleuchteten Kulturen. Eine auffällige Beschleunigung im Wachstum der Rhizoiden bei Lichtabschluß, wie sie **Stameroff** (1897) beobachtete, konnte ich nicht feststellen.

Im Verlauf der Untersuchungen ergab sich, daß die Brutknospen von Lunularia in ihrem ganzen Verhalten große Uebereinstimmung mit denen von Marchantia aufweisen, weshalb sie nicht näher besprochen werden sollen.

Auch bei Riccia ist die Entwicklung im **Licht** sehr günstig. Die Rhizoiden, welche der schwimmenden Form sonst fehlen, treiben an verschiedenen Stellen der Thalli aus, besonders hinter den Scheitelkanten. Da in „reinem" Wasser die Bildung von Rhizoiden, allerdings an Zahl und Länge geringer, häufig beobachtet wurde, kann das Austreiben solcher nicht durch eine Reizung, die von den Salzen der Lösung ausgeht, allein bewirkt sein. Auch hier ist das Wachstum auf den von **unten belichteten** Nährlösungen etwas schwächer. Die Rhizoiden treiben ebenfalls an der dem Licht abgewandten Seite aus und wachsen ebenso lebhaft und kräftig wie im Licht in den feuchten Raum hinein. — Stärker gehemmt wird

die Ausbildung der Sprosse in den **Dunkelkulturen.** Es zeigen sich ähnliche Erscheinungen wie bei den Brutknospen von Marchantia. Die auswachsenden Spitzen sind fadenförmig in die Länge gewachsen.

Nachdem wir somit das Wachstum und die normale Entwicklung der drei Lebermoose auf **vollständigen Nährlösungen** kennen gelernt haben, soll nun die Frage erörtert werden, wie sich der **Mangel** eines als wichtig für den Pflanzenorganismus bekannten Elementes bzw. seines Salzes bei der gesamten Ausbildung unserer Objekte bemerkbar macht.

2. Unvollständige Nährlösungen.

Aus diesen Versuchen geht begreiflicher Weise im allgemeinen hervor, daß in den unvollständigen Nährlösungen das Fehlen eines der Elemente bzw. seines Salzes — mit Ausnahme des Schwefels — über kurz oder lang eine Störung der normalen Entwicklung bei den drei Objekten hervorruft. Häufig ist mit der Hemmung des Sproßwachstums eine Steigerung des Rhizoidwachstums verbunden. Doch gilt das keineswegs für alle Fälle. Es bedarf häufig längerer Versuchsdauer, um manche erst allmählich auftretende Abweichungen deutlich beobachten zu können. Bei meinen nicht sterilen Kulturen erschwerte die nach und nach einsetzende Veralgung eine genaue Beobachtung sehr. Da ständig Parallelkulturen in vollständiger Nährlösung angesetzt wurden, konnte man nach Ablauf einiger Zeit schon makroskopisch Unterschiede in der Gesamtentwicklung erkennen. Gehen wir nun auf die einzelnen Befunde näher ein:

Kalium:

Beim Fehlen von Kaliumsalzen sehen wir schon nach 10 Tagen eine Stockung in der zunächst normalen Entwicklung der Marchantia- und Lunularia-Brutknospen. Sie wachsen später, teilweise einseitig, zu schmalen, unregelmäßig geformten Thalli heran, die allmählich bis auf die wachsenden Teile ihr Chlorophyll verlieren. Die Zahl und Länge der Rhizoiden weicht nicht wesentlich von den Kulturen in vollständiger Nährlösung ab. (S. 36).

Bei den Riccia-Kulturen ist das Wachstum zunächst günstiger, doch kommt es ebenfalls später zum Stillstand. **Benecke** hatte gleichfalls bei seinen Lunularia-Brutknospen eine Wachstumsverzögerung festgestellt, wenn Kaliumsalze fehlten. Diesen Befund

kann ich also auch für Marchantia, Lunularia und Riccia bestätigen.

Magnesium:

Bedeutend weniger macht sich der Mangel an Magnesiumsalzen bemerkbar. Wir beobachten zuerst normale Entwicklung der Sprosse und Rhizoiden. Erst nach längerer Zeit bleiben die Thalli im Wachstum zurück und einzelne Zellen werden braun. Sonstige Schädigung der Objekte ist nicht zu bemerken. Der Mangel kommt also erst ziemlich spät zur Geltung.

Auch **Benecke** hatte bei längerer Versuchsdauer kaum eine Beeinträchtigung der Kulturen festgestellt. Er weist darauf hin, daß die verhältnismäßig gute Entwicklung vielleicht ermöglicht wird durch die Reservestoffe, welche in der jungen Brutknospe gespeichert sind. Es wird sich so der mehr oder weniger große Gehalt an bestimmten Reservestoffen bemerkbar machen. Jedoch nimmt er an, daß es nicht nur auf „das Vorhandensein der Stoffe" ankommt, sondern auch darauf, „daß die Bedingungen für ihre Mobilmachung realisiert sind".

Wenngleich der Mangel an Magnesiumsalzen während der Kulturdauer nicht besonders augenscheinlich wird, so können wir dennoch aus dem Vergleich mit den Kulturen in vollständiger Nährlösung, die ja zur gleichen Zeit angesetzt wurden, den Schluß ziehen, daß Magnesium für unsere Objekte ein Element darstellt, das auf die Dauer nicht entbehrt werden kann.

Kalzium:

Ein gänzlich anderes Bild bieten die Kulturen, denen Kalziumsalze fehlen. Schon nach kurzer Zeit tritt erhebliche Verzögerung im Wachstum ein, und die normale Entwicklung der Rhizoiden wird stark zurückgedrängt. Nach 3 Wochen ist die Schädigung bereits so intensiv geworden, daß die Zellen verblassen und die Mehrzahl der Brutknospen von Marchantia und Lunularia zugrunde geht. Nicht viel günstiger ist das Verhalten von Riccia bei Kalkmangel. Nach 3 Wochen ist ebenfalls ein großer Teil der Sprosse abgestorben.

Aehnliche Beobachtungen hatte bereits **Benecke** gemacht. Zwar sind wir über die Aufgaben des Kalziums im pflanzlichen Organismus nicht unterrichtet, doch ist seine „antagonistische" Eigenschaft d. h. die Fähigkeit, die Giftwirkung anderer Salze wie Mg, K usw. aufzuheben, von den verschiedensten Autoren bekundet.[1])

[1]) Bei manchen niederen Pflanzen soll Kalzium allerdings entbehrlich sein. Näheres bei Rippel (1932); s. dazu auch Wischmann.

Für die Entwicklung der drei Lebermoose ist Kalzium unbedingt erforderlich.

Stickstoff:

Die Abwesenheit von gebundenem Stickstoff in der Nährlösung kennzeichnet sich in charakteristischer Weise. Die Entwicklung der Brutknospen von Marchantia und Lunularia beginnt normal, stockt dann aber, wie bei Kulturen in reinem Wasser, nach kurzer Zeit, während die Rhizoiden kräftig weiter wachsen und an Länge stets ganz erheblich die Rhizoiden der Kulturen auf vollständiger Nährlösung überflügeln. Schädigung der Rhizoiden ist nicht zu beobachten. Allerdings sind sie meistens etwas dünner ausgebildet und ähneln so den Wurzeln von höheren Pflanzen in N-freien Wasserkulturen, die ja ebenfalls stark in die Länge treiben, während sie an Dickenwachstum den normalen Wurzeln nachstehen.

Aehnliches Verhalten zeigen die Thalli von Riccia. Hier fällt gleichfalls die starke Ueberverlängerung der Rhizoiden im Gegensatz zu der geringen Entwicklung der Sprosse auf, die teilweise ungleichmäßig auswachsen.

Die Wachstumsstörung bei Abwesenheit gebundenen Stickstoffs und die eigentümliche Ueberverlängerung der Rhizoiden hatte **Benecke** schon bei Lunularia beobachtet. Ich hatte bei meinen Objekten ebenfalls dasselbe Ergebnis.

Die Notwendigkeit von Stickstoffverbindungen für Marchantia, Lunularia und Riccia ist nicht zweifelhaft.

Phosphor:

In Kulturen ohne Phosphat setzt bei Marchantia und Lunularia zunächst ein normales Wachstum der Brutknospen und Rhizoiden ein. Erstere bleiben aber bald zurück und zeigen breite, gedrungene, unregelmäßige Formen. Die Rhizoiden, welche sämtlich einen braun-gelben Farbton aufweisen, der schon makroskopisch zu sehen ist, steigern wiederum ihr Längenwachstum, erreichen jedoch nicht dieselbe Länge wie in den stickstoffreien Kulturen. Nach einiger Zeit treten Krümmungen und Plasmaschrumpfung ein. Nach 35 Tagen beginnen die Brutknospen abzusterben.

Auch die Riccia-Sprosse stellen bald ihr Wachstum ein, zeigen aber sonst zunächst keine Schädigung. Die Rhizoiden, die hier ziemlich zahlreich und lang sind, behielten eine Zeit lang ihr gesundes Aussehen.

Bei allen drei Pflanzen trat langsam an zahlreichen Exemplaren Braunfärbung der Rhizoiden mit nachfolgender Verkümmerung der Thalli ein. Diese Schädigung möchte ich mehr auf einen Eisenüberschuß zurückführen und nur indirekt auf den Phosphatmangel, da etwa überschüssiges Eisen nicht als Phosphat gefällt werden konnte und nun seinerseits einen ungünstigen Einfluß ausübte. Auf diese Gefahr machte **Benecke** bereits aufmerksam. Seine Befunde bezüglich der Abwesenheit von Phosphat, die Sistierung des Sproßwachstums, verbunden mit Ueberverlängerung der Rhizoiden, kann ich somit bestätigen.

Die Versuche zeigen, daß Phosphatverbindungen für eine normale Entwicklung der drei Objekte nicht zu entbehren sind.

Schwefel:

Ein Unterschied der Kulturen, denen Sulfat fehlt, im Vergleich mit den Kulturen in vollständiger Nährlösung, ist während der Versuchsdauer nicht zu erkennen. Die Thalli und Rhizoiden von Marchantia und Lunularia wachsen ohne sichtbare Zeichen einer Störung normal weiter. Nur bei Riccia bleiben einige Exemplare in der Entwicklung zurück. **Benecke** konnte gleichfalls bei Fehlen von Schwefel keine Störungen des Wachstums beobachten.

Da die Pflanzen zum Aufbau ihrer Eiweißkörper jedoch Schwefel benötigen, muß man annehmen, daß die Reservestoffe der Brutknospen derartige Verbindungen in genügender Menge enthalten, und wir können schließen, obwohl es an unseren Kulturen makroskopisch[2]) nicht nachzuweisen ist, daß Schwefel für Lebermoose ein notwendiges Element darstellt.

Eisen:

Mangel an Eisensalzen verhindert in unserer Nährlösung gleichfalls nicht die normale Entwicklung der Brutknospen und Rhizoiden, die zahlreich und von normaler Länge sind. Erst nach 14 Tagen bleiben die Brutknospen zurück und lassen besonders die Breitenentwicklung vermissen. Einzelne Sprosse wachsen einseitig weiter. Nur bei wenigen, hauptsächlich bei Riccia-Sprossen, schwindet das Chlorophyll langsam aus einem großen Teil der Zellen. **Benecke** hatte bei Fehlen von Eisensalzen in Nährlösungen eine normale Ausbil-

[2]) Es würde sich später verlohnen, in derartigen Kulturen sich nicht nur auf das makroskopische Bild zu beschränken, sondern die Stickstoffbilanz mikrochemisch genauer zu erfassen. Vielleicht würden sich dann in der Menge und Zusammensetzung der Eiweißverbindungen Unterschiede ergeben, die weitere Schlüsse erlaubten.

dung der Thalli und Rhizoiden gefunden, die nur geringfügig hinter den in vollständiger Nährlösung gewachsenen Kulturen zurückblieb. Ich hatte nun zunächst auf Nährlösungen ohne Eisenzusatz durchaus dieselben Beobachtungen gemacht.

In der Annahme, daß vielleicht die notwendigen „Eisenspuren" — und Eisen ist doch nach den neuesten Erfahrungen für alle Pflanzen unentbehrlich — in den verwendeten Salzen als Verunreinigung vorhanden waren, versuchte ich, einer Nährlösung durch Ausschütteln mit Kohle (Carbo medicinalis Merck) jegliches Eisen zu entziehen.[3]) Freilich gelangen hierbei nach den Untersuchungen von **Roberg** anorganische Stoffe in die Lösung, die für das Ergebnis unserer Versuche jedoch keine Rolle spielen, da nur die eine Hälfte der so behandelten Lösung Eisen (0,0005 % $FeSO_4$) erhielt, und die beiden Hälften der Nährlösungen, die sich also allein durch den Gehalt an Eisensalz unterschieden, als Parallelkulturen benutzt wurden.

Jetzt zeigte sich nach einiger Zeit ein Unterschied zwischen den beiden Kulturen, der sich durch Hemmung des Sproßwachstums und gleichzeitig vermehrte Ausbildung von Rhizoiden in der eisenfreien Lösung kennzeichnete. Eine Störung der normalen Entwicklung ist bei allen Objekten zu erkennen und zeigt, daß sie Eisensalze nicht entbehren können. Sonstige Veränderungen der Thalli, wie z. B. Chlorose, ein Kennzeichen für Eisenmangel, waren noch nicht zu erkennen.

Unsere Kulturversuche erlauben den Schluß, daß auch für Lebermoose Eisen als Nährstoff zu werten ist.

Eisen und Zink:

Im Anschluß an die Versuche mit eisenfreien Nährlösungen erwähne ich noch einige Kulturen, die mir zeigen sollten, ob die antagonistische Wirkung zwischen Eisen und Zink, die sich in reinem Wasser nur schwach bemerkbar gemacht hatte, (S. 24) in vollständigen Nährlösungen zutage treten würde. Es wurden 4 Lösungen einander gegenüber gestellt:

Kultur 1. vollständige Nährlösung, also mit Eisen,
Kultur 2. vollständige Nährlösung+Zink, also Fe+Zn,
Kultur 3. Nährlösung ohne Eisen, ohne Zink,
Kultur 4. Nährlösung ohne Eisen, aber mit Zink.

An Zink-sulfat war 10 % der in vollständiger Nährlösung gegebenen Eisensalzmenge zugesetzt.

Die Nährlösungen waren vor dem Zusatz der Metallsalze mit Kohle behandelt worden.

[3]) Literatur b. Roberg.

Die Beobachtungen bezüglich Kultur 1 und Kultur 3, wonach Kultur 3 im Wachstum zurück bleibt, sind bereits oben besprochen worden und sollen hier nicht weiter behandelt werden.

Kultur 2 (+ Fe + Zn) zeigt nach 20 Tagen ein schlechteres Wachstum als 1. Die Thalli sind schmal und lang geworden, nur die Vegetationspunkte bleiben intensiv grün. Die Rhizoiden zeigen keine Störung, doch ist ihre Zahl geringer als bei 1. Eine gewisse Wachstumshemmung ist unverkennbar. In Kultur 4 (— Fe + Zn) ist nach 10 Tagen bereits eine Stockung im Wachstum eingetreten, und die Rhizoiden zeigen starke Krümmungen. Nach 25 Tagen sind die Brutknospen weit hinter Kultur 3 (— Fe — Zn) zurückgeblieben. Das Chlorophyll schwindet langsam aus den Zellen. Die Rhizoiden zeigen Schädigung und verdickte, unregelmäßige Kuppen. Die Hemmung ist auch hier deutlich zu erkennen. Dem Verlauf des Wachstums entsprechend ordnen sich die Kulturen: $1 > 2 > 3 > 4$.

Bei gleichzeitigem Zusatz von Eisen- und Zinksalzen wird, wie diese letzten Versuche zeigen, der ungünstige Einfluß des Zinks wohl gehemmt, jedoch nicht völlig unterdrückt.

3. Zusammenfassung des II. Teils.

Die Untersuchungen dieses Abschnittes sollten uns Auskunft geben über die Frage, wie die Entwicklung einiger Lebermoose (Marchantia polymorpha, Lunularia cruciata, Riccia fluitans) auf vollständigen und unvollständigen Nährlösungen verläuft. Außer dem Einfluß des Lichtes und der Dunkelheit auf die Ausgestaltung der Thalli und Rhizoiden sollte auch untersucht werden, wie sich der Mangel einzelner Elemente bzw. ihrer Salze bei dieser Entwicklung bemerkbar machte.

Bei **vollständiger Ernährung**, günstigen Licht- und Temperaturverhältnissen, findet ausgezeichnete Entwicklung der drei Lebermoose statt. Durch einseitig einfallendes Licht wird innerhalb von zwei Tagen die Dorsiventralität festgelegt. Die Rhizoiden, welche fast ausschließlich auf der dem Licht abgewandten Seite auswachsen, benötigen Licht zu ihrer Entwicklung, die jedoch bei Lichtabschluß auch durch chemische Einflüsse (Nährlösungen) angeregt wird. In flüssigen Medien wurden während der Kulturdauer keine Fortpflanzungsorgane gebildet. Licht ist während der ganzen Entwicklung zu

einer normalen Ausbildung notwendig. Im Dunkeln zeigen die Thalli anomale Formen. Die Konzentration der Nährlösung beeinflußt die Längen- und Breitenentwicklung der Thalli, indem erhöhte Konzentration ebenso wie zunehmendes Licht die Flügelentwicklung fördert. In neutral oder schwach sauer reagierenden Medien ist das Wachstum am günstigsten.

In **unvollständigen Nährlösungen** weicht die Entwicklung der Thalli und Rhizoiden häufig vom normalen Wachstum ab. Teilweise ist mit der einsetzenden Wachstumshemmung der Sprosse eine Förderung der Rhizoidausbildung verbunden.

Mangel an **Kalium**salzen hemmt die Ausbildung der Brutknospen und ruft anomale Thallusformen hervor. Bei Riccia tritt die Hemmung erst spät in Erscheinung. Die Rhizoiden zeigen in allen Fällen keine wesentliche Störung.

Abwesenheit von **Magnesium**salzen macht sich erst nach längerer Zeit durch Hemmung des Sproßwachstums bemerkbar.

Das Fehlen von **Kalzium**salzen bewirkt erhebliche Störungen im Wachstum der Thalli und Rhizoiden bei allen drei Objekten, verhindert die Entwicklung und führt frühzeitig zum Absterben.

Ist kein gebundener **Stickstoff** vorhanden, so setzt bald Hemmung des Sproßwachstums ein, während die Rhizoiden übermäßig stark verlängert werden.

Mangel an **Phosphaten** stört die Sproßentwicklung und fördert das Wachstum der Rhizoiden, die jedoch nicht die Länge der stickstofffreien Kulturen erreichen. Ein Teil der Rhizoiden wird geschädigt.

Abwesenheit von **Sulfaten** ruft während der Versuchsdauer keine bemerkbaren Störungen im Wachstum der Brutknospen hervor. Nur bei Riccia zeigen einzelne Sprosse geringe Hemmung.

Wurden den normalen Nährlösungen keine **Eisen**salze gegeben, so machte sich die Abwesenheit dieses Metalles kaum bemerkbar, weil mit den Reagenzien genügend Eisen als Verunreinigung derselben den Pflanzen geboten wurde. War die Lösung jedoch mittels Kohle von den letzten Spuren Eisen befreit, so fand nur geringfügiges Wachstum statt.

Die schon früher beobachtete Giftwirkung des **Zink**sulfats auf die Brutknospen von Marchantia tritt auch in vollständigen Nährlösungen auf, die Gegenwart des **Eisens** vermag die hemmende Wirkung von Zink wohl zu mindern, jedoch nicht aufzuheben. In eisenfreien Nährlösungen macht sich der schädigende Einfluß des Zinks stärker bemerkbar.

Literaturverzeichnis.

Benecke, W., Ein Beitrag zur mineralischen Nahrung der Pflanzen, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 1894, Bd. **12,** S. 105.

Benecke, W., Ueber die Keimung der Brutknospen von Lunularia cruciata, Bot. Zeitg. 1903, Bd. **61,** S. 19.

Benecke, W., Ueber die Giftwirkung verschiedener Salze auf Spirogyra und ihre Entgiftung durch Kalziumsalze, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 1907, Bd. **25,** S. 322.

Böhm J., Ueber den vegetabilischen Nährwert der Kalksalze. Ber. Akad. d. Wissenschaften, Wien 1875, Bd. **71,** S. 287.

Bode, H., Untersuchungen über die Abhängigkeit der Atmungsgröße von der H—Ionenkonzentration bei einigen Spirogyren, Jahrb. **f.** wiss. Bot. 1926, Bd. **65,** S. 352.

Bullot, Toxicity of distilled water for the fresh-water Gammarus. Surpression of this toxicity by small quantities of Sodium Chloride. Univ. Calif. Public. 1902. Vol. **1.** p. 199. (zit. nach Winkelmann).

Cerighelli, R., Influence de l'eau destillée et de sels de calcium sur le développement des boutures, Bull. Soc. Bot. Françe 1926, T. **73,** p. 628.

Czapek, F., Weitere Beiträge zur Kenntnis der geotropischen Reizbewegungen, Jahrb. f. wiss. Bot. 1898, Bd. **32,** S. 175.

Dachnowski, A., Zur Kenntnis der Entwicklungsphysiologie von Marchantia pol. Jahrb. f. wiss. Bot. 1907, Bd. **44,** S. 254.

Erréra, L., Pourquoi les éléments de la matière vivante ont ils des poids atomiques peu élevés? Malpighia 1886, T. **1.** p. 1.

Fitting, H., Untersuchungen über die Auslösung von Protoplasmaströmung, Jahrb. f. wisss. Bot. 1925, Bd. **64,** S. 281.

Fitting, H., Untersuchungen über die Chemodinese bei Vallisneria, ebenda 1928, Bd. **67,** S. 427.

Förster, K., Die Wirkung äußerer Faktoren auf die Entwicklung und Gestaltbildung bei Marchantia pol. Planta 1927, Bd. **3.** S. 325.

Goebel, K., Zur vergleichenden Anatomie der Marchantiaceen. Arb. aus d. bot. Inst. Würzburg 1880, S. 529.

Goebel, K., Organographie der Pflanzen. II. 3. Aufl. Jena 1930.

Hahn, F., Destilliereinsatz zum Vermeiden des Uebespritzens. Ztschr. f. analyt. Chem. 1922. Bd. **61,** S. 52, (zit. nach Roberg).

Hansteen-Cranner, B., Ueber das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen, Jahrb. f. wiss. Bot. 1910, Bd. **47,** S. 289.

Hansteen-Cranner, B., Beiträge zur Biochemie u. Physiologie der Zellwand und der plasmatischen Grenzschichten, Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 1919, Bd. **37,** S. 380.

Hibbard, R., The question of the toxicity of distilled water, Americ. Journ. Bot. 1915, Vol. **2,** p. 389.

Hopmann, O., Ueber das Vorkommen und die Mikrochemie des Amyloids in pflanzlichen Zellhäuten, Diss. Münster 1930.

Hoyt, W. D., Some toxic and antitoxic effects in cultures of Spirogyra. Bull. Torrey Bot. Club 1913, Vol. **40,** p. 333.

Lilienstern, M., Physiologisch-morphologische Untersuchungen über Marchantia pol. Ber. d. Dtsch. Bot. Ges. 1927, Bd. **45,** S. 447.

Lloyd, F. E. and T. Cunliffe-Barnes, Changes in the cells of Spirogyra associated with the presence of water polymers. Prot. nat. Ac. Sci. U. S. A., 1932, vol. **18,** p. 422.

Maquenne, L. et Demoussy, E., Influence des matières minérales sur la germination. Ann. de la science agron., 6 Ser. 1921, T. **38.** p. 113.

Maquenne, L. et Cerighelli, R., Influence de la chaux sur le rendement des graines pendant la periode germinative. Compt. Rend., 1922, T. **174,** p. 1269.

Mevius, W., Kalzium-Ion und Wurzelwachstum. Jahrb. f. wiss. Bot. 1927, Bd. **66,** S. 183.

Mevius, W., Weitere Beiträge zum Problem des Wurzelwachstums. Ebenda 1928, Bd. **69,** S. 119.

Meyer, A., Erstes mikroskopisches Praktikum. 3. Aufl., Jena 1915.

Molisch, H., Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen, Jena 1892.

Ostwald, W., Hand- und Hilfsbuch zur Ausübung physikochemischer Messungen. Leipzig 1893. S. 295.

Paul, H., Beiträge zur Biologie der Laubmoosrhizoiden. Englers Jahrbücher 1903, Bd. **32,** S. 231.

Pfeffer, W., Studien über Symmetrie und specifische Wachstumsursachen, Arb. aus d. Bot. Inst. Würzburg 1871.

Pfeffer, W., Zur Kenntnis der Kontaktreize, Unters. aus d. Bot. Inst. Tübingen 1885, Bd. **1,** S. 483.

Pfeffer, W., Pflanzenphysiologie. 2. Aufl. Leipzig 1897.

Pirschle, K., Zur physiologischen Wirkung homologer Ionenreihen. Jahrb. f. wiss. Bot. 1930, Bd. **72,** S. 335. II. Untersuchungen über die physiologische Wirkung homologer Ionenreihen. 1932. Bd. **86,** S. 1.

Portheim, L. v., Ueber die Notwendigkeit des Kalkes für Keimlinge, insbes. bei höheren Temperaturen. Ber. Akad. d. Wiss. Wien, Math. Naturw. Kl. 1901, Bd. **110,** S. 113.

Rippel, A. u. Stoess, U., Ist Calcium ein für Mikroorganismen notwendiges Element? Arch. f. Mikrobiol. 1932, Bd. **3,** S. 492.

Roberg, M., Ueber die Wirkung von Eisen-, Zink- und Kupfersalzen auf Aspergillen, Centralbl. f. Bakt. II. Abt. 1928, Bd. **74,** S. 333.

Roberg, M., Weitere Untersuchungen über die Bedeutung des Zinks für Aspergillus niger, ebenda 1931, Bd. **84.** S. 196.

Rupp, E., Klein-Apparat für aqua recenter destillata, Apoth. Zeitg. 1928. S. 420.

Sakamura, S., Ueber die Selbstvergiftung der Spirogyren in dest. Wasser, Bot. Magaz. Tokyo 1922, Bd. **36,** S. 133.

Scarth, G. W., The toxic action of distilled water and its antagonism by cations. Proc. a. Transact Roy. Soc. Canada III. Ser. 1924, Vol. **18,** Sect. V, p. 97. (Zit. nach Mevius, 1928).

Schoene, K., Beiträge zur Kenntnis der Keimung der Laubmoossporen und zur Biologie der Laubmoosrhizoiden, Flora 1906, Bd. **96,** S. 276.

Schostakowitsch, W., Ueber die Reproduktions- und Regenerationserscheinungen bei den Lebermoosen. Flora 1894, Bd. **79,** S. 350.

Stameroff, K., Zur Frage über den Einfluß des Lichtes auf das Wachstum der Pflanzen. Flora 1897, Bd. **83,** S. 135.

Stas, J. S., Untersuchungen über die Gesetze der chemischen Proportionen usw. Leipzig 1867. (zit. nach Molisch.).

Stephan, J., Der Einfluß von Lichtqualität und -quantität auf das Wachstum der Brutkörper von Marchantia pol., Planta 1928, Bd. **6,** S. 510.

True, R., The harmful action of distilled water, Americ. Journ. of Bot. 1914, Vol. **1,** p. 255.

Vöchting, H., Ueber die Regeneration von Marchantiaceen, Jahrb. f. wiss. Bot. 1885, Bd. **16,** S. 367.

Weinert, H., Untersuchungen über Wachstum und tropistische Bewegungserscheinungen der Rhizoiden thallöser Lebermoose, Bot. Zeitg. 1909, Bd. **67,** S. 201.

Winkelmann, A., Die Einwirkung von Salzen und diastatischen Fermenten auf Statolithenstärke, Diss. Münster 1924.

Wischmann, J., Ueber die Giftwirkung verschiedener Electrolyte und Electrolytgemische auf Spirogyra. Diss. Kiel 1910.

Yamaha, G., Experimentell-zytologische Beiträge I. und II. Journ. Fac. of Sc. Imp. Univ. Tokyo, Sect. III., 1927, Bd. **2,** S. 1 und S. 215.

Tabelle 1.

Herstellung des Wassers:	erste deutl. Schädigung erkennbar nach Tagen:	Tod d. meisten Pflanzen ist eingetret. nach Tagen:	Wachstum des Thallus bzw. der Sprosse	Bildung und Wachstum der Rhizoiden bzw. der Wurzeln
Marchantia polymorpha				
1 x destilliert (n. Junkers)	4	8	kaum Wachstum, langsam. Schwinden d. Chlorophylls, die Zellen werden braun od. farblos	Wenige Rhizoiden bis 1,2 mm Länge, blasig. Anschwell. an den Spitzen, korkzieherartige Krümmungen, Plasmaschrumpfung.
2 x destilliert (n. Fitting)	15	25—30	kaum Wachstum, Zellen später braun oder violett gefärbt	Wenige Rhizoiden, bis 2,6 mm Länge, verschieden stark geschädigt
2 x destilliert (n. Fitting + Einsatz)	10	15—20	kein Wachstum, zahlreiche braune oder farblose Zellen.	sehr wenige Rhiz. (3—5), bis 2,8 mm Länge, häufig blasiges Anschwellen
Lunularia cruciata				
1 x destilliert (n. Junkers)	4	10	kaum Wachstum, Schädigung wie bei Marchantia	Wenige Rhizoiden, bis 1 mm Länge
2 x destilliert (n. Fitting)	12—15	30	kaum Wachstum, Schädigung wie oben	Wenige Rhizoiden, bis 2,5 mm Länge, vereinzelt länger
2 x destilliert (n. Fitting + Einsatz)	8—10	20—24	kein Wachstum Schädigung wie oben	wenige Rhizoiden, bis 2,5 mm Länge
Riccia fluitans				
1 x destilliert (n. Junkers)	5	10	kein Wachstum; die Zellen an d. Schnittfläch. sterben zuerst ab, bald die andern	Wenige Rhiz., bis 1,4 mm L., blas. Anschw., Plasmaschrumpfung (wie bei Marchantia)
2 x destilliert (n. Fitting)	10—15	30	kaum Wachstum, Schädigung wie oben	wenige Rhizoiden, bis 3 mm Länge, starke Plasmaschrumpfung
2 x destilliert (n. Fitting + Einsatz)	10	20 einzelne 15	kein Wachstum Schädigung wie oben	wenige Rhizoiden, bis 1,5 mm Länge, Schädigung wie vorstehend
Onobrychis sativa				
1 x destilliert (n. Junkers)	10—12	20	kein Wachstum, die grünen Sprosse machen bald einen kränkl. Eindruck u. verkümmern	langsames Weiterwachsen; 3—4 kurze Nebenwurzeln, die Spitzen werden braun oder verdickt und sterben ab
2 x destilliert (n. Fitting)	12—15	25—26	kaum Wachstum langsames Verkümmern	langsames Weiterwachsen, wenige Nebenwurzeln, vielfach treten Krümmungen (anomale) auf, sonst wie vorstehend
2 x destilliert (n. Fitting + Einsatz)	10	18 einzelne 22	kein Wachstum langsames Verkümmern	wenige Nebenwurzeln, Schädigung wie vorstehend

Tabelle 2.

Zusammensetzung der in Teil II benutzten Lösungen.

1. Vollständige Nährlösungen.

α $NaNO_3$ 0,02 %; $CaCl_2$ + 6aq 0,01 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,01 %; KH_2PO_4 0,01 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %; = ca 0,05 %[1])

β KNO_3 0,01 %; $CaSO_4$ + 2aq 0,02 %; KH_2PO_4 0,02 %; $MgSO_4$ 7aq 0,02 %; Fe_2O_3 0,003 %. = ca 0,07 %

γ KNO_3 0,1 %; $Ca_3(PO_4)_2$ 0,05 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,05 %; $FeSO_4$ 7aq 0,0005 %. = ca 0,2 %

δ NH_4NO_3 0,02 %; $Ca_3(PO_4)_2$ 0,02 %; KCl 0,02 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,02 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,002 %. = ca 0,08 %

2. Unvollständige Nährlösungen.

Ohne gebundenen Stickstoff.

α NaCl 0,001 %; $CaCl_2$ + 6aq 0,01 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,01 %; KH_2PO_4 0,01 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,03 %

β KCl 0,016 %; $CaSO_4$ + 2aq 0,02 %; KH_2PO_4 0,02 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,02 %; Fe_2O_3 0,003 %. = ca 0,08 %

γ NaCl 0,016 %; $Ca_3(PO_4)_2$ 0,02 %; KCl 0,02 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,002 %; $CaSO_4$ + 2aq 0,02 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,1 %

Ohne Phosphat.

α $NaNO_3$ 0,02 %; $CaCl_2$ + 6aq 0,01 %; $MgSO_4$ +7aq 0,01 %; K_2SO_4 0,005 %; KCl 0,0005 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,05 %

β NH_4NO_3 0,02 %; KCl 0,02 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,02 %; $CaSO_4$ + 2aq 0,02 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,08 %

Ohne Kalziumsalz.

α $NaNO_3$ 0,02 %; $CaCl_2$ + 6aq 0,01 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,01 %; NaH_2PO_4 0,01 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,05 %

β NH_4NO_3 0,02 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,02 %; $Ca_3(PO_4)_2$ 0,02 %; NaCl 0,002 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,06 %

Ohne Magnesiumsalz.

$NaNO_3$ 0,02 %; $CaCl_2$ + 6aq 0,005 %; $CaSO_4$ + 2aq 0,005 % KH_2PO_4 0,01 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca 0,04 %

Ohne Kalziumsalz.

$NaNO_3$ 0,02 %; NaCl 0,001 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,01 %; KH_2PO_4 0,01 %; $FeSO_4$ + 7aq 0,0005 %. = ca. 0,046 %

Ohne Sulfat.

$Ca(NO_3)_2$ + 4aq 0,025 %; $MgCl_2$ + 6aq 0,01 %; KH_2PO_4 0,01 %; $FeCl_3$ 0,0005 %. = ca 0,45 %

Ohne Eisensalz.

$NaNO_3$ 0,02 %; $CaCl_2$ + 6aq 0,01 %; $MgSO_4$ + 7aq 0,01 %; KH_2PO_4 0,01 %. = ca 0,05 %

Außer den obigen Nährlösungen wurden solche benutzt, die sekundäres Kalium- bzw. Natriumphosphat enthielten.

---

[1]) Die Nährsalzkonzentration betrug bei: Benecke ca. 0.01—1 %; Förster ca. 0.06—0.5 %; Lilienstern ca. 0.08—0.17 %.

Vorliegende Arbeit wurde im Botanischen Institut der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster in Westfalen unter Leitung von Herrn Prof. B e n e c k e ausgeführt. Auch an dieser Stelle möchte ich meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. B e n e c k e, meinen Dank sagen für seine Anregungen zu dieser Arbeit und für seine gütige Unterstützung bei ihrer Ausführung. Ferner bin ich Herrn Dr. R o b e r g für die mir stets freundlich gewährten Ratschläge zu großem Dank verpflichtet.

Lebenslauf.

Ich, Leo Augustin Johannes Ehring, katholischen Bekenntnisses, wurde geboren zu Münster in Westfalen am 16. Juni 1901. Nach Besuch der Volksschule, der Vorschule und des humanistischen Gymnasiums Paulinum erhielt ich 1922 das Reifezeugnis. Nach zweijähriger Praktikantentätigkeit war ich noch ein Jahr lang als Apothekerassistent in verschiedenen Apotheken beschäftigt. Von Ostern 1925 bis Ostern 1926 studierte ich an der Universität Münster Pharmazie, besuchte im Sommersemester 1926 die Universität zu Würzburg a. M. und kehrte Herbst 1926 zur Universität Münster zurück, wo ich am 27. April 1928 die pharmazeutische Staatsprüfung bestand. Nach halbjähriger praktischer Tätigkeit besuchte ich zum weiteren Studium der Naturwissenschaften bis zum Sommer 1931 wiederum die Universität zu Münster.

Die Approbation als Apotheker wurde mir am 25. Juli 1930 erteilt.